

(12) **FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO**

(22) Data de pedido: **2008.05.19**

(30) Prioridade(s):

(43) Data de publicação do pedido: **2009.11.19**

(45) Data e BPI da concessão: /

(73) Titular(es):

MANUEL PEDRO IVENS COLLARES PEREIRA
RUA PROFESSOR CARLOS TEIXEIRA, N.º 6, 6.º B
1600-608 LISBOA PT

JÚLIO CÉSAR PINTO CHAVES ES

(72) Inventor(es):

MANUEL PEDRO IVENS COLLARES PEREIRA PT
JÚLIO CÉSAR PINTO CHAVES ES

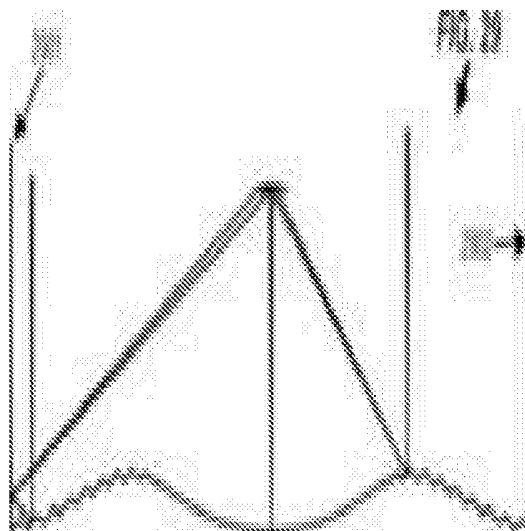
(74) Mandatário:

PEDRO DA SILVA ALVES MOREIRA
RUA DO PATROCÍNIO, N.º 94 1399-019 LISBOA PT

(54) Epígrafe: **CONCENTRADORES PRIMÁRIOS DE ÉTENDUE AJUSTADA COMBINADOS COM SECUNDÁRIOS ASSOCIADOS A MÚLTIPLOS RECEPTORES E COM REDUÇÃO DE CONVECÇÃO**

(57) Resumo:

A PRESENTE INVENÇÃO REFERE-SE A CONCENTRADORES PRIMÁRIOS E SECUNDÁRIOS DE RADIAÇÃO SOLAR. SÃO APRESENTADOS NOVOS CONCENTRADORES PRIMÁRIOS DE ÉTENDUE AJUSTADA COMBINADOS COM CONCENTRADORES SECUNDÁRIOS, PARA RECEPTORES SIMPLES OU MÚLTIPLOS, CAPAZES DE ALCANÇAREM A CONCENTRAÇÃO MÁXIMA POSSÍVEL. A PRESENTE INVENÇÃO REFERE-SE AINDA A DISPOSITIVOS PARA REDUZIR AS PERDAS TÉRMICAS POR CONVECÇÃO DOS RECEPTORES.



RESUMO

“CONCENTRADORES PRIMÁRIOS DE *ÉTENDUE* AJUSTADA COMBINADOS COM SECUNDÁRIOS ASSOCIADOS A MÚLTIPLOS RECEPTORES E COM REDUÇÃO DE CONVECÇÃO”

A presente invenção refere-se a concentradores primários e secundários de radiação solar. São apresentados novos concentradores primários de *étendue* ajustada combinados com concentradores secundários, para receptores simples ou múltiplos, capazes de alcançarem a concentração máxima possível. A presente invenção refere-se ainda a dispositivos para reduzir as perdas térmicas por convecção dos receptores

DESCRIÇÃO

"CONCENTRADORES PRIMÁRIOS DE *ÉTENDUE* AJUSTADA COMBINADOS COM SECUNDÁRIOS ASSOCIADOS A MÚLTIPLOS RECEPTORES E COM REDUÇÃO DE CONVECÇÃO"

CAMPO DA INVENÇÃO

A presente invenção refere-se a concentradores primários e secundários de radiação solar. A invenção refere-se a novos concentradores primários de *étendue* ajustada combinados com concentradores secundários, para receptores simples ou múltiplos, capazes de alcançarem a concentração máxima possível. A presente invenção refere-se ainda a dispositivos para reduzir as perdas térmicas por convecção dos receptores.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

As centrais solares de grande escala podem produzir grandes quantidades de energia eléctrica. Isto implica a captação de grandes quantidades de energia solar.

Algumas destas centrais podem simplesmente captar a energia do sol sem a concentrar, tal como no caso de se utilizarem painéis fotovoltaicos expostos à luz solar. No entanto, quando se utilizam células de alta eficiência ou ciclos termodinâmicos, é necessário algum grau de concentração para aumentar a eficiência e, portanto, é também necessário algum seguimento do

sol.

A luz solar é concentrada utilizando ópticas. Há casos em que um grande número de ópticas pequenas é colocado lado a lado, cada uma com o seu respectivo concentrador. Este é o caso de, por exemplo, um conjunto de primários parabólicos com células solares nos seus focos, ou adicionando caleidoscópios para melhorar a uniformidade de distribuição de radiação sobre cada célula [Daniel Feuermann and Jeffrey M. Gordon, *Solar Fiber-optic mini-dishes: a new approach to the efficient collection of sunlight*, Solar Energy Vol. 65, No. 3, pp. 159-170, 1999]. Noutros casos, utiliza-se um menor número de receptores de maiores dimensões, mas nesses casos são necessárias ópticas de maiores dimensões. O problema das ópticas maiores é que são mais difíceis de montar e mover para seguir o sol. Uma possibilidade para contornar este problema é substituir uma óptica grande por um grande número de ópticas menores que imitam o seu comportamento. Um exemplo deste processo encontra-se nas centrais de torre que têm um grande número de pequenos espelhos chamados helióstatos que reflectem a luz solar para um grande receptor. Neste caso, em vez de um primário parabólico de grandes dimensões, estas centrais têm um primário de *Fresnel* composto por muitos espelhos pequenos. [J.I. Ortega, J.I. Burgaleta, F.M. Tellez, *Central Receiver System (CRS) Solar Power Plant using Molten Salts as Heat Transfer Fluid*, Proceedings 13th International Symposium on Solar Power and Chemical Energy Technologies ISBN 84-7834-519-1, Edit. M. Romero, D. Martinez, V. Ruiz, M. Silva, M. Brown, M. Snachez, M. Romero, *Methodology for generation of heliostat field layout in central receiver system based on yearly normalized energy surfaces*, Solar Energy 80, pp861-874, 2006]

Uma outra possibilidade é ter receptores lineares nos quais a luz solar é concentrada utilizando ópticas lineares. Também neste caso se podem utilizar primários parabólicos [E. Rojas, A. Fernandez, E. Zarza, *Theoretical evaluation of parabolic trough designs for industrial applications*, Proceedings 13th International Symposium on Solar Power and Chemical Energy Technologies ISBN 84-7834-519-1, Edit. M. Romero, D. Martinez, V. Ruiz, M. Silva, M. Brown], ou em alternativa primários de *Fresnel* compostos de helióstatos longos e lineares, paralelos, colocados em direcções paralelas ao receptor [Patente US 4131336: Miller et al., *Primary reflector for solar energy collection system*, 1978, *Solar thermal power plants*, Renewable Energy World 06/2003 pp. 109-113]. Os helióstatos podem seguir o sol mantendo o receptor iluminado por luz concentrada. No entanto, os helióstatos sombreiam-se mutuamente, especialmente aqueles que estão mais afastados do receptor, e a luz sombreada perde-se. A concentração destes primários pode ser aumentada com óptica dita secundária, tal como com os concentradores secundários TERC [J. M. Gordon and Harald Ries, *Tailored edge-ray concentrators as ideal second stages for Fresnel reflectors*, *Applied Optics*, Vol. 32, No.13, pp. 2243-2251, 1993]. Contudo, estes concentradores só se aproximam do limite de concentração teórico, no caso limite de um primário composto por helióstatos infinitesimais, uma limitação prática severa.

Na técnica anterior, uma melhoria em relação a um primário de *Fresnel* simples consiste em intersectar dois campos de helióstatos num arranjo conhecido como CLFR (*Compact Linear Fresnel Reflector* - Reflector de Frensel Linear Compacto) [David R. Mills and Graham L. Morrison, *Compact linear Fresnel*

reflector solar thermal power plants, Solar Energy Vol. 68, No. 3, pp. 263–283, 2000; Patente US 5899199: David Mills, *Solar Energy Collector system*, 1999, patente US 6131565: David Mills, *Solar Energy Collector system*, 2000]. Neste arranjo, em vez de um só receptor há vários receptores. Os helióstatos são todos do mesmo tamanho e aqueles mais próximos de um receptor redireccionam a luz solar para ele. Aqueles mais longe, alternadamente redireccionam a luz para o primeiro receptor e para um segundo receptor. Isto gera um campo de helióstatos em forma de W nas áreas mais afastadas dos receptores em que os helióstatos ímpares reflectem a luz para um receptor enquanto os helióstatos pares reflectem a luz para outro receptor. Esta configuração, no entanto, ainda não ajusta os *étendues* da radiação incidente e reflectida e, portanto, haverá sempre algum sombreamento de luz independentemente do tamanho dos helióstatos.

Esta é uma limitação fundamental destas ópticas e é independente do tamanho ou forma dos helióstatos. As concentrações finais obtidas com estas ópticas estão muito longe do limite teórico.

Para resolver o problema de ajuste da *étendue* da luz recebida pelo primário com a *étendue* que o primário deveria, em teoria, redireccionar para os absorvedores/receptores, são necessários novos primários.

A presente invenção apresenta duas formas distintas de melhorar o primário no sentido acima referido: modificando a sua forma global e modificando o tamanho e forma dos helióstatos. Para aumentar a concentração e atingir-se o limite teórico

máximo, os novos primários têm que ser combinados com novos concentradores secundários.

Ao mudar a forma global do primário, os helióstatos são agora colocados numa superfície de geometria cilíndrica com a forma de uma onda e em que a forma e tamanho dos helióstatos são agora uma função da sua posição nessa forma de onda. Os helióstatos podem também ser planos, caso em que quanto mais pequenos forem, mais concentração permitirão atingir.

O tamanho e forma dos helióstatos podem ser ajustados de forma a aumentar a concentração, que pode ser ainda mais aumentada com a utilização de um secundário. Os helióstatos constituem um primário descontínuo e, para desenhar um secundário contínuo, desenvolve-se um primário contínuo. Os helióstatos são então interligados por linhas de fluxo, resultando num primário contínuo (linha quebrada) para o qual um secundário contínuo pode ser desenhado. As porções do primário ao longo das linhas de fluxo podem então ser removidas, deixando os helióstatos com que iniciamos o processo. Neste conceito o primário concebe-se (para efeitos de desenho do secundário) como um espelho contínuo mas quebrado, isto é em degraus ou escalonado, algumas partes do qual seguem linhas de fluxo, enquanto outros troços do primário cruzam aquelas linhas de fluxo [Pablo Benitez, Juan Carlos Minano, Maikel Hernandez, *On the analysis of microstructured surfaces*, SPIE Proceedings, Vol. 5529, Nonimaging Optics and Efficient Illumination Systems, pp.186-197, 2004]. Este tipo de construções é comum no desenho de lentes de *Fresnel*, que podem também ser combinadas com secundários para aumentar a sua concentração [M. Collares Pereira, A. Rabl and R. Winston, Lens-mirror combination with

maximal concentration, *Applied Optics*, Vol. 16, No. 10, pp. 2677-2683, 1977, M. Collares Pereira, *High temperature solar collector with optimal concentration: non-focusing Fresnel lens with a secondary concentrator*, *Solar Energy*, Vol. 23, pp. 40-9420, 1979, Ralf Leutz, Akio Suzuki, Atsushi Akisawa and Takao Kashiwagi, *Design of a nonimaging lens for solar concentrators*, *Solar Energy*, Vol. 65, No. 6. pp. 379-387, 1999]. Outros tipos mais elaborados de ópticas escalonadas são também possíveis [Julio Chaves, Manuel Collares-Pereira, *Ultra flat ideal concentrators of high concentration*, *Solar Energy* Vol. 69, No. 4, pp. 269-281, 2000 ,Julio Chaves and Manuel Collares-Pereira, *Ideal concentrators with gaps*, *Applied Optics*, Vol. 41, No. 7, pp. 1267-1276, 2002 ,Julio Chaves, *Introduction to Nonimaging Optics*, CRC Press, Taylor and Francis Group, 2008]. Secundários contínuos podem também ser desenhados directamente para primários descontínuos (um conjunto de helióstatos), em cujo caso unir os helióstatos do primário por espelhos ao longo das linhas de fluxo não é necessário. Nesta versão, os helióstatos podem estar sobre a superfície referida com a forma de onda, ou sobre uma superfície plana. Os concentradores secundários concebidos para estes novos primários, são contínuos, troço por troço, de acordo com a natureza por troços do primário.

No caso de apenas haver um só receptor/absorvedor, o concentrador assim obtido, compara-se favoravelmente em relação às combinações tradicionais de reflectores de *Fresnel* e respectivos secundários, aumentando a concentração sobre o receptor para valores próximos do limite teórico, mesmo para primários compostos por grandes helióstatos. No caso de receptores/absorvedores múltiplos, estes novos concentradores também se comparam favoravelmente em relação aos CLFR, mais uma

vez atingindo valores de concentração sobre os receptores/absorvedores próximos dos limites teóricos, ao mesmo tempo tendo menos perdas.

Os espelhos secundários geralmente tocam no receptor/absorvedor e uma metodologia para impedir/resolver esse problema é também apresentado.

A invenção também inclui dispositivos para reduzir as perdas térmicas por convecção junto ao receptor/absorvedor. Estes incluem espelhos com forma especial e coberturas transparentes.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

A presente invenção refere-se a um sistema óptico com concentrador primário de tipo *Fresnel* e concentrador secundário adjacente ao receptor, estando o conjunto secundário-receptor acima do primário, e caracterizado por o concentrador primário conter uma óptica escalonada cuja forma verifica a condição de que esta reflecte um conjunto de raios extremos de forma a serem tangentes ao receptor e outro conjunto de raios extremos na direcção do concentrador secundário, cuja forma verifica a condição de que este, por sua vez, reflecte os raios extremos que recebe do concentrador primário em direcções tangentes ao receptor, produzindo aí, teoricamente, uma concentração máxima, e em que o concentrador secundário é truncado.

Numa forma de realização, o sistema óptico é caracterizado por o receptor ter uma face de forma convexa e também uma face

plana, e em que o concentrador secundário toca esta face plana em apenas um ponto e em que essa face plana poderá ser substituída por uma côncava, resultando num secundário que não toca o receptor.

Noutra forma de realização, o referido sistema óptico é caracterizado por estarem ausentes algumas ou todas as porções da óptica escalonada que acompanham as linhas de fluxo, deixando apenas aqueles troços que cruzam as linhas de fluxo, isto é, os helióstatos, e em que as eventuais porções contínuas (não escalonadas) do concentrador primário são também divididas em helióstatos.

Numa forma de realização, o referido sistema óptico é caracterizado por os helióstatos poderem rodar sobre si próprios para acompanhar o movimento aparente diurno do sol.

Noutra forma de realização, o referido sistema óptico é caracterizado por combinar por justaposição pelo menos dois sistemas ópticos como os referidos acima, constituindo assim um concentrador com receptores múltiplos.

Numa forma de realização, o referido sistema óptico é caracterizado por os helióstatos serem colocados sobre uma superfície com a forma de uma onda, com geometria cilíndrica, correspondendo, essencialmente, a uma curva que conserva opticamente a *étendue*. Noutra forma de realização preferida, o referido sistema óptico é caracterizado por os espelhos do concentrador primário serem planos ou curvos. Ainda noutra forma de realização preferida, o referido sistema óptico é caracterizado por a forma global do concentrador primário ser

plana. De um modo preferido, o referido sistema óptico é caracterizado por todos os receptores estarem essencialmente à mesma altura e os ângulos medidos a partir da vertical que passa num dos receptores serem cerca de: $33\pm 10^\circ$ com a linha que partindo do receptor, passa no ponto do primário que marca a transição entre um e dois receptores, de $61\pm 5^\circ$ com a linha que passa no ponto intermédio da óptica primária e de $71\pm 5^\circ$ com a linha que passa no outro ponto de transição de um para dois receptores. De um modo mais preferido, o sistema óptico anterior é caracterizado por os ângulos medidos a partir da vertical que passa num dos receptores serem: $32,6^\circ$ com a linha que partindo do receptor, passa no ponto do primário que marca a transição entre um e dois receptores, de $61,2^\circ$ com a linha que passa no ponto intermédio da óptica primária e de $71,2^\circ$ com a linha que passa no outro ponto de transição de um para dois receptores. Numa forma de realização mais preferida, o sistema óptico anterior é caracterizado por não conter concentradores secundários junto dos receptores.

Noutra forma de realização, o referido sistema óptico é caracterizado por os receptores terem maior tamanho do aquele que teriam se dimensionados para uma concentração ideal ou máxima.

A presente invenção refere-se também a um sistema óptico caracterizado por compreender coberturas transparentes essencialmente perpendiculares às linhas de fluxo e espelhos (espelhados em ambos os lados) que essencialmente acompanhem as linha de fluxo, para redução da convecção junto ao receptor.

Numa forma de realização preferida, o referido sistema óptico é caracterizado por compreender espelhos e/ou coberturas transparentes, com a forma de linhas quebradas que essencialmente seguem as linhas de fluxo ou essencialmente são perpendiculares a elas, respectivamente, e em que as coberturas poderão ser simples ou duplas.

A presente invenção refere-se ainda à utilização de qualquer sistema óptico como acima definido, caracterizada por o sistema óptico ser aplicado na concentração da energia solar.

BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

Os aspectos referidos acima e outros, características e vantagens da presente invenção, serão clarificados pela seguinte descrição particular, apresentada em conjunto com os desenhos que se incluem.

FIG. 1 mostra um reflector parabólico.

FIG. 2 mostra um espelho plano que reflecte radiação com abertura angular total de 2θ .

FIG. 3 mostra um reflector parabólico cortado em várias secções e essas secções deslocadas para baixo para formar um reflector de *Fresnel*. A orientação destes espelhos pequenos tem então que ser ajustada.

FIG. 4 mostra um reflector de *Fresnel*.

FIG. 5 mostra uma vista esquemática de um reflector de *Fresnel* com um número infinito de espelhos infinitesimais.

FIG. 6 mostra o sombreamento que ocorre num reflector de *Fresnel* devido a diferenças (desajuste) de *étendue* entre a radiação incidente e a radiação emitida.

FIG. 7 mostra um feixe de luz incidente que se divide e reflecte para dois receptores separados.

FIG. 8 mostra a geometria da divisão de um feixe incidente de radiação em dois feixes de radiação emitidos por uma superfície inclinada.

FIG. 9 mostra várias curvas conservadoras de *étendue* quando a radiação incidente é redireccionada para receptores diferentes.

FIG. 10 mostra a curva mais compacta daquelas mostradas na FIG. 9.

FIG. 11 mostra a possível geometria de uma óptica divisora de radiação, dividindo um feixe de luz incidente em dois feixes de luz emitida. Neste exemplo, a óptica divisora é composta de dois helióstatos.

FIG. 12 mostra o sombreamento que pode ocorrer entre duas ópticas divisoras adjacentes, tal como aquela mostrada na FIG. 11.

FIG. 13 mostra a curva na FIG. 10 com ópticas divisoras.

FIG. 14 mostra o ponto de tangência na curva conservadora de *étendue* para além do qual a luz redireccionada para o receptor da esquerda é sombreada.

FIG. 15 mostra uma combinação de uma parábola e uma curva conservadora de *étendue*.

FIG. 16 mostra a curva na FIG. 15 com helióstatos simples e ópticas divisoras.

FIG. 17 mostra uma comparação entre a geometria da óptica na FIG. 16 e a parábola para o mesmo propósito.

FIG. 18A e FIG. 18B mostram um primário de *Fresnel* com uma distribuição de raios diferente.

FIG. 19 mostra um espelho secundário para um primário de *Fresnel* tal como mostrado na FIG. 18.

FIG. 20 mostra um receptor em V central com um secundário truncado e um primário de *Fresnel*.

FIG. 21 mostra a geometria geral do campo de helióstatos, determinada por considerações de *étendue*.

FIG. 22 mostra um sistema primário-secundário para um ângulo de aceitação pequeno.

FIG. 23 mostra um detalhe da FIG. 22 em torno da área do receptor.

FIG. 24 mostra uma lente de *Fresnel* com dentes diferentes nas metades esquerda e direita.

FIG. 25 mostra um concentrador ideal de linhas de fluxo escalonadas com receptor linear.

FIG. 26 mostra uma combinação de um primário de *Fresnel* com um secundário de linhas de fluxo truncado.

FIG. 27A mostra um concentrador ideal de linhas de fluxo escalonadas com um receptor em V.

FIG. 27B mostra o método de construção para o concentrador na FIG. 27A.

FIG. 28 mostra um concentrador para vários receptores com um primário de *Fresnel* e espelhos secundários truncados.

FIG. 29 mostra um concentrador semelhante ao da FIG. 28, mas desenhado para um ângulo de aceitação menor.

FIG. 30 mostra um concentrador que produz máxima concentração no receptor, com um espelho primário descontínuo.

FIG. 31 mostra a geometria de um primário de *Fresnel* plano ideal (número infinito de helióstatos infinitesimais) para dois receptores.

FIG. 32 mostra as dimensões relativas ideais para um primário de *Fresnel* ideal com dois receptores.

FIG. 33 mostra a diferença de *étendue* ao longo do primário para um primário de *Fresnel* ideal para dois receptores e com dimensões relativas ideais.

FIG. 34 mostra a geometria de um concentrador para um ângulo de aceitação 2θ e receptor plano, mostrando que o receptor não é suficientemente grande para poder receber toda a *étendue* emitida pelo primário.

FIG. 35 mostra um concentrador ideal primário-secundário para um receptor em V.

FIG. 36 mostra um concentrador ideal primário-secundário para um receptor em U.

FIG. 37 mostra um concentrador ideal primário-secundário para um receptor composto de tubos circulares.

FIG. 38 mostra um concentrador para um receptor em V cujo primário tem espelhos de tamanho finito.

FIG. 39 mostra um concentrador para dois receptores em V cujo primário tem espelhos finitos e com um espelho secundário truncado.

FIG. 40 mostra um concentrador para um ângulo de aceitação pequeno e dois receptores em V, cujo primário tem espelhos finitos e com um espelho secundário truncado.

FIG. 41 mostra uma modificação de um receptor em V e um

espelho secundário que resulta num desenho em que o espelho não toca o receptor.

FIG. 42 mostra um concentrador para um receptor em Δ invertido com um espelho secundário liso (com derivada contínua).

FIG. 43 mostra um concentrador para um receptor em V maior do que o ideal. O espelho secundário já não se estende até ao fim do primário.

FIG. 44 mostra um concentrador ideal para um receptor em V e as linhas de fluxo (ou linhas-G) e as suas perpendiculares (ou linhas-F) no seu interior.

FIG. 45 mostra um primário-secundário em que o receptor está protegido por uma cobertura transparente com a forma de uma linha-F (perpendicular às linhas de fluxo) e com espelhos internos ao longo das linhas de fluxo. Ambos componentes reduzem as perdas térmicas convectivas internas.

FIG. 46 mostra um receptor em V com isolamento térmico na parte de trás. O espelho secundário poderá ter um dissipador de calor para evitar o seu sobreaquecimento.

Uma melhor compreensão das características e vantagens da presente invenção serão obtidas por referência à descrição detalhada da invenção e correspondentes desenhos, que são ilustrativos e em que são utilizados os princípios da invenção.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

A presente invenção refere-se a novos concentradores primários de *étendue* ajustada combinados com concentradores secundários, para receptores simples ou múltiplos, capazes de alcançarem a concentração máxima possível. A presente invenção refere-se ainda a dispositivos para reduzir as perdas térmicas por convecção dos receptores.

Na técnica anterior estes concentradores podem ter apenas um só receptor (tal como no caso de Reflectores Lineares do tipo *Fresnel* - LFR) ou podem ter receptores múltiplos como no caso de Reflectores Lineares de *Fresnel* Compactos - CLFR). A presente invenção apresenta melhorias na forma geral do primário no caso de receptores múltiplos. Apresenta ainda novos concentradores do tipo primário-secundário no caso dum receptor único e que se aproximam do limite teórico de concentração, mesmo quando o primário consiste em helióstatos grandes (algo impossível na técnica anterior). Estes novos concentradores também se aplicam ao caso de receptores múltiplos. A presente invenção apresenta ainda dispositivos para reduzir as perdas térmicas por convecção do(s) receptor(es).

A presente invenção descreve um novo tipo de primários de *Fresnel* denominados ajustados em *étendue*. Estas formas de primário têm uma configuração como uma onda, conservadora de *étendue* e são caracterizadas pelo facto de a *étendue* da radiação incidente se ajustar perfeitamente à *étendue* da radiação reflectida na direcção dos receptores (em particular no caso de haver só um receptor a forma já não é do tipo de uma onda mas

parabólica (técnica anterior).

O espelho reflector correspondente consiste num grande número de pequenas estruturas que seguem a geometria da curva que conserva a *étendue* e reflectem luz/radiação para os receptores. Um caso limite destes novos primários ocorre quando são constituídos por um número infinito de helióstatos (tal como acontece na técnica anterior). Novos secundários podem então ser desenhados para estes primários aproximando-se do limite teórico de concentração. Embora estes novos conjuntos representem um passo à frente quando comparados com a técnica anterior, por causa do desajuste muito reduzido da *étendue*, têm ainda um interesse prático reduzido. Tal como se discutirá em seguida, esta invenção também apresenta geometrias de estruturas primárias com tamanhos grandes (finitos) e práticos.

A presente invenção também descreve novos concentradores primário-secundário para receptores únicos. O primário está composto por um conjunto de helióstatos (espelhos móveis que seguem o sol). Para aumentar a concentração do primário, este pode ser combinado com um concentrador secundário. Para facilitar o desenho de um secundário contínuo, os helióstatos são unidos por linhas de fluxo, resultando num primário contínuo com uma forma escalonada, que é uma linha contínua e quebrada. Um secundário contínuo pode então desenhar-se para este (agora contínuo) primário. Um primário contínuo não é uma condição necessária e um secundário contínuo poderia desenhar-se, mesmo para um primário descontínuo (este tipo de ópticas são também descritas na patente). No entanto, um primário contínuo torna o desenho do secundário mais intuitivo. Uma vez desenhado o secundário, as porções do primário ao longo das linhas de fluxo

poderão ser removidas, deixando no primário os helióstatos com que se iniciou o processo.

O reflector primário é agora então concebido de modo a ser um reflector de linha de fluxo em degrau, consistindo num contínuo de troços como uma linha quebrada cujas partes ora seguem, ora cruzam as linhas de fluxo. Estes troços individuais são em geral curvos, mas alguns podem ser planos. A forma subjacente do espelho primário como um todo pode ser ela própria curva ou plana.

Em configurações particulares da presente invenção, a óptica resultante, primário-secundário, aproxima-se do limite de concentração máxima sobre o receptor. Em contraste, a técnica anterior só podia (teoricamente) atingir concentração máxima sobre o receptor no caso limite de um primário constituído por estruturas infinitesimais. No conjunto primário-secundário, o primário é concebido de forma a reflectir um conjunto de raios extremos para direcções tangentes ao receptor. O outro conjunto de raios extremos é também reflectido pelo primário mas agora na direcção do secundário. Este, por sua vez, redirecciona os raios extremos de forma a terminarem também tangentes ao receptor.

No caso, por exemplo, de grandes sistemas solares, as secções de reflectores em degrau ao longo de linhas de fluxo, podem ser retiradas, resultando assim um reflector descontínuo que contém apenas os troços que cruzam as linhas de fluxo. Estes troços remanescentes podem agora ser considerados como helióstatos que "seguem" o movimento aparente do sol. Este conjunto por si só não é ideal e os helióstatos podem estender-se um pouco para recuperar alguma da luz/radiação perdidas. O

secundário inicialmente desenhado para o reflector contínuo por troços, pode agora ser usado com os helióstatos curvos resultantes, originando uma óptica de alta eficiência e que se aproxima do limite teórico de concentração sobre o receptor.

Alguns destes concentradores para um receptor único podem agora ser combinados originando concentradores para receptores múltiplos. O processo é semelhante à combinação de LFR para formar CLFR, em que vários LFR se sobrepõem intersectando-se e formando um CLFR. Uma solução mais simples consiste em ter todos os helióstatos sobre uma linha recta. Numa solução mais elaborada, a forma subjacente do primário poderá ser distinta, tal como a de uma curva que conserve a *étendue*. Nestas ópticas, os helióstatos poderão ser colocados sobre uma linha (superfície) com a forma de uma onda, reflectindo a radiação solar para diferentes receptores. O tamanho e forma dos helióstatos são uma função da posição sobre a linha (superfície) da onda. Este procedimento permite ajustar a *étendue* da radiação incidente com a que se reflecte para os diferentes receptores. O resultado é um primário *Fresnel* com muito pouco sombreamento, e portanto, muito poucas perdas ópticas. Em contraste, a técnica anterior não contempla o ajuste das *étendues* incidente e reflectida no e pelo primário e portanto as ópticas resultantes têm menor eficiência, devido a sombreamento entre helióstatos.

A presente invenção também explora as dimensões relativas de um reflector optimizado para dois receptores, no qual todas as componentes (troços) do primário estão colocadas sobre uma linha recta (superfície plana). Para uma concentração final óptima (nos limites teóricos) da presente invenção, obtida com recurso aos concentradores secundários descritos nesta invenção,

o receptor não pode ser plano e apenas com um lado absorvedor, já que um receptor assim não consegue acomodar toda a *étendue* da radiação reflectida do primário para ele.

A presente invenção descreve ainda uma metodologia para criar uma separação (hiato) entre o espelho e o receptor, para prevenir uma ponte térmica e as consequentes perdas térmicas.

A presente invenção descreve ainda formas de reduzir as perdas por convecção em torno do receptor, através do recurso a coberturas/superfícies transparentes essencialmente perpendiculares às linhas de fluxo e de espelhos que essencialmente seguem as linhas de fluxo.

A presente invenção refere-se a desenhos ópticos com geometria bidimensional, que podem ser implementados de forma prática dando a estes desenhos simetria de translação (ou de rotação nos desenhos com apenas um receptor plano).

O termo "*étendue*" da radiação que cruza uma curva (geometria bidimensional) refere-se ao integral do produto do comprimento projectado pela abertura angular da radiação: $U = \iint dx \cos \theta d\theta$ em que U é a *étendue*, dx é um comprimento infinitesimal ao longo da curva, θ o ângulo que a direcção de propagação da radiação faz com a normal a dx e $d\theta$ a abertura angular ocupada pela radiação que cruza dx . Num âmbito mais geral, a curva pode estar imersa num meio de índice de refração n , caso em que a *étendue* se define por $U = \iint n dx \cos \theta d\theta$.

Na presente invenção, entende-se por "curva conservadora da *étendue*" a curva à qual pequenas estruturas podem adicionar-se e

que redireccionam a luz para um ou mais receptores e em que a *étendue* da luz incidente coincide com a *étendue* da luz redireccionada para os receptores.

Além disso, entende-se por "óptica escalonada" ou "óptica em degraus", uma óptica que consiste num espelho que segue uma linha de fluxo, depois uma óptica cruzando as linhas de fluxo e que captura e redirecciona uma porção da luz, depois outro espelho ao longo de uma linha de fluxo, depois uma outra óptica cruzando as linhas de fluxo e que captura e redirecciona uma porção da luz, e assim sucessivamente. Um caso particular ocorre quando a óptica cruzando as linhas de fluxo é um simples espelho (curvo ou plano). Neste caso, a óptica escalonada é um espelho contínuo mas quebrado, que ora segue ora cruza as linhas de fluxo.

Entende-se por "espelho simples" qualquer superfície espelhada numa única face e por "espelho duplo" qualquer superfície que seja espelhada nas suas duas faces.

Entende-se ainda por "cobertura/superfície transparente dupla" aquela que é constituída por duas superfícies transparentes simples.

A presente descrição será ainda clarificada recorrendo-se às figuras já apresentadas.

FIG. 1 mostra um espelho parabólico 101. O raio de luz 102 paralelo ao eixo da parábola é reflectido no ponto 103 com normal **n** na direcção 104 para o foco 105. A normal à parábola no ponto 103 é na direcção **n**. Todos os raios paralelos a 102 são

também reflectidos pela parábola em direcção ao seu foco 105.

FIG. 2 mostra um espelho plano 201 e o balanço de *étendue* da luz que este recebe e reflecte. A luz chega na direcção vertical com abertura angular 2θ , fazendo um ângulo α_1 com a normal \mathbf{n} ao espelho, e deixa-o ainda com a mesma abertura angular 2θ , mas agora fazendo um ângulo α_2 com a sua normal. O raio médio 202 incide na vertical e deixa o espelho como o 203 fazendo um ângulo ϕ com a vertical. A *étendue* da radiação incidente é dada por $dU_1=2dl\sin\theta\cos\alpha_1$ em que dl é o comprimento do espelho 201. A *étendue* da luz que deixa o espelho é dada por $dU_2=2dl\sin\theta\cos\alpha_2$. Se a abertura angular 2θ se conserva no espelho, então a conservação da *étendue* $dU_1= dU_2$ resulta em $\alpha_1=\alpha_2$. Suponhamos agora que este espelho é uma porção muito pequena de uma curva, tal como a mostrada na FIG. 1. Esta condição (correspondente à lei da reflexão) define a direcção da normal \mathbf{n} à curva para cada valor de ϕ uma vez que o raio médio da radiação incidente é vertical antes da reflexão. Se for dado um ponto inicial para a curva e esta concentra todos os raios médios para um foco, então esta condição $\alpha_1=\alpha_2$ resulta numa forma parabólica. A parábola pode então ver-se como uma forma que conserva a *étendue* da radiação quando esta se concentra num foco.

FIG. 3 mostra uma parábola dividida em secções. Cada uma destas secções podem mover-se para baixo para o plano e ajustada para formar um reflector de *Fresnel*.

FIG. 4 mostra um reflector de *Fresnel* resultante da construção na FIG. 3. Agora, em vez de uma parábola, temos um conjunto de espelhos de *Fresnel* 401 no plano que concentram a

luz para o foco 402. Os espelhos de *Fresnel* nesta figura são grandes quando comparados com o tamanho geral da óptica e, se quisermos um foco pequeno, então temos que, obviamente, utilizar espelhos curvados.

FIG. 5 mostra uma vista esquemática do caso em que os espelhos de *Fresnel* na FIG. 4 se tornam mais e mais pequenos. No caso limite de um número infinito de espelhos infinitesimais, o reflector de *Fresnel* tornar-se-ia uma micro-estrutura 502 que reflecte raios verticais para o foco 503. Para cada ponto 501 na micro-estrutura, o raio reflectido faz um ângulo ϕ com a vertical. Para focar perfeitamente um conjunto de raios verticais paralelos no foco 503, à medida que os espelhos de *Fresnel* se tornam mais e mais pequenos, a sua curvatura poderá diminuir. No caso limite mostrado na figura, estes espelhos seriam planos.

FIG. 6 mostra a diferença de *étendue* para a radiação incidente e redireccionada num reflector de *Fresnel* e o conseqüente e inevitável sombreamento. Esta é a situação no ponto 501 do reflector de *Fresnel* na FIG. 5. A *étendue* da radiação incidente é $dU_1=2dl\sin\theta$ enquanto que a da radiação emitida é $dU_2=2dl\sin\theta \cos\phi$ em que dl é o comprimento da abertura 602 (a projecção de 602 na direcção ϕ é $da=dl\cos\phi$). Pode então ver-se que a *étendue* já não se conserva. A *étendue* perdida corresponde ao sombreamento por espelhos de *Fresnel* adjacentes. Apenas os raios verticais entre 606 e 607 são reflectidos para o receptor, e aqueles entre 605 e 606 são sombreados pelo espelho à esquerda. Destas considerações pode concluir-se que nem toda a luz recebida no ponto 501 na FIG. 5 pode ser redireccionada para o receptor 503. Isto significa que, ou parte da luz se perde

(devido ao sombreamento), ou tem que se redireccionar noutra direcção. Para redireccionar este excesso de radiação noutra direcção é necessário um outro receptor e, portanto, somos levados a considerar reflectores de *Fresnel* com múltiplos receptores.

FIG. 7 mostra a geometria de um ponto 707 num reflector de *Fresnel* com dois receptores 703 e 704. Os detalhes de como implementar estes reflectores serão analisados mais à frente. Um feixe de luz incidente e vertical atinge o ponto 707 no reflector de *Fresnel* e divide-se em dois feixes separados: um feixe 705 redireccionado para o receptor da esquerda 703 e um outro feixe 706 redireccionado para um outro receptor 704 à direita. Estes feixes fazem, respectivamente, ângulos ϕ_1 e ϕ_2 com a vertical.

FIG. 8 mostra um detalhe do que acontece no ponto 707 na FIG. 7. Numa vizinhança daquele ponto, o reflector de *Fresnel* pode ter a forma de uma linha plana infinitesimal 801 de comprimento dl inclinada de um α com a horizontal. Tal como fizemos acima para o caso da parábola, também aqui consideramos que a radiação incidente tem abertura angular 2θ e também que os feixes redirigidos têm a mesma abertura angular. A *étendue* da radiação 804 recebida por 801 (radiação incidente) é dada por $dU_0=2dl\sin\theta\cos\alpha$. A *étendue* da radiação 805 redirigida para a esquerda é $dU_1=2dl\sin\theta\cos(\phi_1-\alpha)$ e aquela da radiação 806 redirigida para a direita é $dU_2=2dl\sin\theta\cos(\phi_2+\alpha)$. A conservação da *étendue* pode escrever-se neste caso como $dU_0=dU_1+dU_2$ ou $\cos(\phi_1-\alpha)+\cos(\phi_2+\alpha)=\cos\alpha$. Agora, da geometria da FIG. 7 e da posição do ponto 707, os ângulos ϕ_1 e ϕ_2 podem determinar-se. Da

equação anterior é então possível determinar o ângulo α que o reflector de *Fresnel* faz com a horizontal nesse ponto. Dado um ponto inicial para o reflector de *Fresnel*, pode obter-se uma curva que conserva a *étendue* da luz redirigida para os 703 e 704. Este processo é semelhante ao utilizado acima para definir a parábola (no caso de um só receptor).

No caso em que a radiação incidente 804 tenha abertura angular $2\theta_0$, a radiação 805 redirigida para a esquerda tenha abertura angular $2\theta_1$ e a radiação 806 redirigida para a direita tenha abertura angular $2\theta_2$ a forma da curva conservadora de *étendue* é governada pela equação para a conservação da *étendue* que pode agora escrever-se como:

$$\sin\theta_1\cos(\phi_1-\alpha)+\sin\theta_2\cos(\phi_2+\alpha)=\sin\theta_0\cos\alpha.$$

FIG. 9 mostra três curvas conservadoras de *étendue* 902, 903 e 904 calculadas de acordo com o método descrito na FIG. 7 e na FIG. 8 para três pontos iniciais diferentes 905, 906 e 907, todos na vertical do receptor 909. Para o ponto médio 901 verifica-se a condição $\phi_1=\phi_2$. A equação para a conservação da *étendue* $\cos(\phi_1-\alpha)+\cos(\phi_2+\alpha)=\cos\alpha$ resulta em $\alpha=0$ e também em $\phi_1=\phi_2=60^\circ$. O ponto 901 pode então ser obtido se a distância entre os receptores 908 e 909 for dada (neste exemplo assume-se que ambos estão à mesma altura). A curva conservadora da *étendue* mais compacta é a 902 que começa no ponto 905 à mesma altura que 901.

FIG. 10 mostra a curva 1001 que é a curva conservadora da *étendue* mais compacta da FIG. 9. Mostra também a geometria de um feixe de luz vertical e incidente que se divide no ponto 1006 no

feixe 1004 redireccionado para a esquerda em direcção ao receptor 1002 e no feixe 1005 redireccionado para a direita em direcção ao receptor 1003. Os ângulos que estes feixes redireccionados fazem com a vertical são ϕ_1 e ϕ_2 respectivamente.

FIG. 11 mostra uma óptica divisora de radiação dividindo um feixe de luz incidente em dois feixes de luz emitida. Esta óptica pode agora ser aplicada ao ponto 707 da FIG. 7, cujo detalhe é mostrado na FIG. 8, permitindo a divisão de um feixe de luz incidente em dois feixes de luz reflectidos. A luz incidente divide-se em duas partes: 1104 e 1105. A luz contida em 1104 é reflectida pelo espelho 1102 para a esquerda na direcção 1106. Além disso, a luz contida em 1105 é reflectida pelo espelho 1103 para a direita na direcção 1107. A linha inclinada 1101 projecta-se para cima como uma combinação dos comprimentos 1104 e 1105. A área 1104 da luz após a reflexão é a mesma que a área 1104 antes da reflexão. Da mesma forma, a área 1105 da luz após a reflexão é a mesma que a área 1105 antes da reflexão.

FIG. 12 mostra dois separadores de radiação sobre uma linha recta. Cada separador de radiação é composto por um espelho 1201 e um espelho 1202. Esta geometria produz um pequeno sombreamento 1203 para a luz reflectida pelos espelhos 1201 para a esquerda. Há também algum sombreamento para a luz reflectida pelos espelhos 1202 para a direita. Esta combinação de ópticas divisoras de radiação pode também aplicar-se sobre uma curva conservadora da *étendue*.

FIG. 13 mostra a mesma curva conservadora de *étendue* da FIG. 10 mas agora com separadores de radiação 1303. Estas

ópticas redireccionam a luz para os receptores 1301 e 1302.

FIG. 14 mostra a curva conservadora da *étendue* 1401, a mesma mostrada na FIG. 10. Há um ponto 1404 nesta curva cuja tangente intersecta o receptor 1402. Para a direita deste ponto, a luz reflectida para 1402 é sombreada pela curva à esquerda. Isto define um ângulo ao extremo 1405 no receptor 1402. A situação é simétrica para o receptor 1403. A porção da curva entre os pontos 1404 e 1407 (à semelhança do resto da curva) foi concebida para que a radiação que sobre ela incide fosse redireccionada para os receptores 1402 e 1403. No entanto, devido ao efeito de sombreamento referido, a radiação que seria reflectida para o receptor 1402 não o atingiria. Teria então mais sentido fazer com que a parte da curva entre 1404 e 1407 reflectisse a radiação apenas para o receptor 1403. Esta mudança resulta num reajuste do desenho da totalidade do perfil do reflector primário.

FIG. 15 mostra uma combinação de uma parábola e uma curva conservadora de para dois receptores. Esta combinação resulta dos argumentos apresentados na FIG. 14. Uma vez que a parábola é uma curva conservadora de *étendue* para um receptor, a curva completa conserva *étendue*. A porção parabólica da curva reflecte luz para um só receptor enquanto que a restante curva conservadora de *étendue* reflecte luz para dois receptores. A porção 1501 da curva entre os pontos 1507 e 1508 é conservadora de *étendue* para dois receptores 1502 e 1503. A porção da curva para a direita de 1508 é uma parábola com foco 1503 e a porção para a esquerda do ponto 1507 é uma parábola com foco 1502. Assim, um feixe de luz vertical incidente no ponto 1505 na parte parabólica da curva é reflectido para o receptor 1503 enquanto

que um feixe incidente em 1504 na curva conservadora de *étendue* para dois receptores é dividido em dois feixes redireccionados para os receptores 1502 e 1503. O ângulo de que subtende o primário quando visto dos receptores é o ângulo 1509. Há um pequeno ângulo 1506 do reflector de *Fresnel* com um valor até $1,5^\circ$ e que subtende uma parte do primário que não é visível do receptor. Num caso particular, a parábola à direita do ponto 1508 é tal que a sua tangente neste ponto intersecta o receptor 1502. O ponto 1508 serve como ponto inicial na construção da restante curva conservadora da *étendue* para dois receptores, que se estende desde aqui até ao ponto 1507.

A FIG. 16 mostra a curva da FIG. 15 com helióstatos e divisores de radiação 1601 sobre ela. A parte parabólica da curva tem helióstatos simples enquanto que a parte que conserva *étendue* para dois receptores tem divisores de radiação. Os receptores estão nas posições 1602 e 1603.

A FIG. 17 mostra uma comparação entre a curva da FIG. 15 e a de uma parábola correspondente. A curva conservadora de *étendue* 1701 tem uma altura 1705 para receptores 1702 e para receptores 1703 à altura 1704. A título de comparação, a parábola 1706, subtendendo o mesmo ângulo que o da curva conservadora de *étendue* e tem um altura 1707. A altura 1705 é 15% da altura 1704 dos receptores e 14% da altura 1707 da parábola correspondente.

A FIG. 18A e a FIG. 18B mostram uma configuração diferente para o primário de *Fresnel* com especificações diferentes. Os raios extremos paralelos a 1810 são reflectidos segundo direcções tangentes ao receptor. Neste exemplo o receptor tem a

forma de um V com pontos extremos 1801 e 1803 e vértice 1802. Contudo, a descrição que se segue é também válida no caso do receptor ter uma outra forma convexa, desde que a forma das curvas no reflector de *Fresnel* sejam definidas de acordo com isso.

Este é um procedimento comum para se desenharem ópticas do tipo *Nonimaging* (Anidólicas ou Não Produtoras de Imagem). O receptor à direita 1831 tem a mesma forma do da esquerda (definido pelos pontos 1801, 1802, 1803).

Para esta forma particular do receptor, a curva do reflector de *Fresnel* começa com o arco de parábola 1804 com o seu eixo paralelo a 1810 e foco 1801. O ponto 1805 é a intersecção da parábola com a vertical que passa em 1802. O reflector de *Fresnel* continua então entre os pontos 1806 e 1808, sendo outro arco de parábola 1807, com eixo paralelo a 1810, mas agora com foco 1802. A porção central do reflector de *Fresnel* é uma curva conservadora de *étendue* 1821, para dois receptores, e que se estende dos pontos 1808 ao seu simétrico 1822. Com referência a um ponto genérico 1823 nessa curva, a luz reflectida para o receptor esquerdo 1830 está limitada pelo raio 1826 tangente ao receptor no ponto 1802 e pelo outro raio extremo 1827. A luz reflectida para o receptor direito 1831 está limitada pelo raio 1824 tangente ao receptor no ponto 1820 e pelo outro raio extremo 1825. Esta porção da curva está calculada usando uma geometria similar à que se mostra na FIG. 8, mas em que os raios 807 e 808 correspondem aos raios 1824 e 1826.

Quando o ponto 1823 se desloca na direcção do ponto 1808,

onde termina a curva 1821, o raio 1824 tende para o raio 1828. Este raio é tangente à curva 1821 no ponto 1808. Escolhendo um ponto 1808 um pouco mais acima na curva 1807 para se começar a curva 1821, resulta num primário de *Fresnel* menos compacto. Por outro lado, escolhendo um ponto 1808 mais para baixo na curva 1807 para começar a curva 1821 resultaria em maiores perdas de radiação devido a sombreamento de alguma desta pela curva 1821 (neste caso o raio 1828 intersectaria a curva 1821).

É possível determinar quanta *étendue* é reflectida pelo espelho de *Fresnel* na direcção do receptor da esquerda 1830 e quanta é reflectida na direcção do receptor da direita 1831. Toda a radiação incidente nos arcos de parábola 1804 e 1807 é redireccionada na direcção de 1830, (embora, nesta configuração, nem toda atinja o receptor). Por outro lado, para a radiação incidente na curva 1821, entre os pontos 1808 e 1822, metade é reflectida para 1830 e a outra metade para 1831. Isto quer dizer que a radiação redirigida na direcção de 1830 pelo reflector de *Fresnel* em 1821 corresponde à *étendue* da radiação incidente em metade da curva 1821. A *étendue* total da radiação redirigida para 1830 é dada por $U=2R\sin\theta$ em que R é a distância horizontal entre o ponto 1805 e o ponto médio 1829 na curva 1821.

A FIG. 19 mostra um espelho secundário 1901 para um *Fresnel* primário, tal como da FIG. 18, aumentando a sua capacidade de concentração. O espelho secundário é concebido de forma que os raios extremos 1809, depois de serem reflectidos pelo primário são redireccionados pelo secundário numa direcção tangente ao receptor 1830. Neste exemplo o receptor é em V, o que quer dizer que são redireccionados para o extremo 1802 do receptor 1830. Esta condição define cada ponto 1902 do espelho secundário. Este

começa no extremo 1803 do receptor e estende-se até ao ponto 1822 na curva 1821. A concentração que esta óptica produz é a máxima permitida por conservação da *étendue* e o concentrador é ideal. Estes secundários são conhecidos por TERC (*Tailored Edge Ray Concentrators*). Infelizmente, nesta geometria, o secundário sombreia completamente o primário e tem de, por isso, ser truncado. De outra forma nenhuma radiação atingiria o primário.

A FIG. 20 mostra a forma completa do primário *Fresnel* para um receptor com a forma de um V 1830, combinado com um secundário truncado 2001. O primário de tipo *Fresnel* está configurado de acordo com as curvas 1804, 1807 e 1821 para a direita e pelas suas simétricas 2002, 2003 e 2004 para a esquerda do receptor. O receptor recebe luz/radiação dos pontos do primário entre o ponto 1822 à direita e do seu simétrico 2005 à esquerda.

Devido à truncatura secundária alguma radiação perde-se porque a parte do secundário que foi eliminada não está lá para a reflectir na direcção do receptor. A concentração final da óptica do conjunto também decresce em consequência. O receptor e o secundário remanescente sombreiam o primário o que corresponde a um novo decréscimo da concentração final. Para pequenos ângulos de aceitação, como é o caso dos concentradores para radiação solar, o total destes efeitos -perdas- é muito pequeno.

Se o sistema não tivesse perdas, a *étendue* da radiação atingindo o receptor 1830 seria igual à incidente no primário entre os pontos 1829 e 2006.

Este sistema óptico estende-se à esquerda e à direita por

simetria de reflexão tendo 2007 e 2008 como eixos de simetria.

A FIG. 21 mostra a geometria usada para deduzir as dimensões globais do conjunto primário-secundário. As posições dos pontos 1801 e 1803 definem-se primeiro (neste exemplo estão à mesma altura). Dado o ângulo de aceitação total 2θ , o ponto 1805 pode ser encontrado. A geometria agora tem duas incógnitas: o comprimento L de cada um dos lados do V e a distancia R do ponto 1805 até ao ponto médio 1829 do campo de helióstatos. Impõe-se a condição de se ter o ponto 1829 à mesma altura que 1805, para se assegurar um primário compacto. Estas duas incógnitas L e R podem ser determinadas impondo que as equações da *étendue* estejam ajustadas no ponto 1829 e entre o campo de helióstatos e o receptor. Tal como no caso do primário na FIG. 9, também aqui a condição de conservação da *étendue* no ponto 1829 resulta em $\phi=60^\circ$ e, portanto, $\beta=60^\circ-\theta$. A conservação da *étendue* entre o campo de helióstatos e o receptor é $2L=2R\sin\theta$. Estas duas condições determinam L e R .

A FIG. 22 mostra uma óptica semelhante à da FIG. 20, mas agora concebida para um ângulo de aceitação de $\pm 0,01\text{rad}$ (ângulo de aceitação total de $1,15^\circ$). O primário é agora a curva 2201 e o secundário a 2202.

A FIG. 23 mostra um detalhe da FIG. 22, mostrando o receptor em V 2301 e o espelho secundário truncado 2202, também exibido na FIG. 22. A concentração da óptica na FIG. 22 é 87% do máximo teórico com um rendimento também de 87%. Estes resultados já têm em conta o sombreamento que o receptor 2301 e o espelho secundário 2202 produzem no primário. As ópticas apresentadas desde a FIG. 18 até à FIG. 23 assumem que o primário está

composto por infinitas estruturas infinitesimais. Esta é uma severa limitação prática. É, no entanto, possível desenhar combinações primário-secundário em que as estruturas no primário têm dimensão finita.

FIG. 24 mostra uma lente de *Fresnel* cujas metades esquerda e direita são diferentes. Princípios semelhantes aos utilizados no desenho desta lente serão utilizados nas figuras seguintes no desenho das estruturas de tamanho finito a colocar sobre a forma do primário. À direita da linha vertical 2401 a superfície inferior da lente tem a forma de uma linha contínua e quebrada cujas porções 2402 seguem as linhas de fluxo 2403 da radiação incidente, enquanto que as porções 2404 cruzam essas linhas de fluxo.

À esquerda da linha vertical 2401, a superfície inferior também é uma linha quebrada, mas agora desenhada de forma diferente. As linhas 2412 são paralelas aos raios extremos 2413 dentro da lente (e, portanto, não têm função óptica) enquanto que as linhas 2411 cruzam as linhas de fluxo da radiação incidente.

A FIG. 25 mostra o concentrador primário-secundário com um ângulo de aceitação de 2θ e um só receptor 2501 com extremos 2502 e 2503.

Neste exemplo, o primário é composto por um espelho parabólico 2504, um espelho plano de linha de fluxo 2505, e um outro espelho composto de duas secções: uma secção plana 2506 e uma parabólica 2507. Estas duas secções (2506 e 2507) partilham uma derivada comum no ponto 2513. Ambas as parábolas (2504 e

2507) no primário têm eixos paralelos aos raios extremos 2517 e foco 2502.

O secundário é composto de três secções 2508, 2509 e 2510. Um raio extremo que venha da esquerda é reflectido no ponto 2511 da secção parabólica 2504 do primário para o ponto 2512 no secundário. Este ponto calcula-se de forma que reflecta este raio para o extremo 2502 do receptor. Para os raios extremos reflectidos no ponto 2513 do primário, um sai na direcção 2514, enquanto o outro é novamente reflectido pela linha de fluxo 2505 na direcção 2515, paralela a 2514. O arco parabólico 2509 com eixo paralelo a 2514 e 2515 concentra então estes raios extremos para o ponto extremo 2502 do receptor. Os pontos 2516 na secção 2510 do secundário são calculados de tal forma que sejam reflectidos para o extremo 2502 do receptor os raios extremos que recebe do arco parabólico do primário 2507. Primário e secundário encontram-se no ponto 2518.

A linha de fluxo 2505 e a secção 2506 podem ter formas diferentes, de acordo com os princípios da óptica anidólica (Não Produtora de Imagem). Neste caso, a secção correspondente no secundário já não será parabólica, mas será ainda calculada de acordo com o princípio dos raios extremos da óptica anidólica.

Esta óptica produz a máxima concentração sobre o receptor. A radiação incidindo directamente no espelho que segue a linha de fluxo 2505 é reflectida para outras direcções que não as do receptor, mas toda a outra é idealmente concentrada para o receptor.

Tal como nos outros casos referidos acima, o secundário tem

de ser truncado para que a radiação possa atingir o primário.

Esta combinação de primário e secundário é uma óptica em degraus ou escalonada com paredes seguindo linhas de fluxo, pois o primário é obtido com espelhos gerados e colocados ao longo de linhas de fluxo, de forma sucessiva e alternando com outros que cruzam as linhas de fluxo. No caso limite estas estruturas, troços, de primário tornam-se infinitesimais e o secundário torna-se no que se conhece como sendo um espelho TERC para aquele primário.

Esta forma de construir o primário partilha princípios semelhantes aos utilizados no desenho da metade direita da lente de *Fresnel* mostrada na FIG. 24.

A FIG. 26 mostra um concentrador primário-secundário com um só receptor 2601. O primário é semelhante ao que se mostra na FIG. 25, mas agora com mais troços. Os espelhos 2505 ao longo das linhas de fluxo foram retirados, deixando só os espelhos 2603 no primário para reflectir a luz/radiação. Cada um destes espelhos 2603 é composto de duas secções, como na FIG. 25. O secundário 2602 foi truncado para que haja luz/radiação a atingir o primário.

Como os espelhos 2505 ao longo de linhas de fluxo foram removidos, a secção 2506 do espelho no primário, (tal como se mostra na FIG. 25) pode agora ser ligeiramente estendida para a esquerda para recuperar alguma da luz/radiação. Uma vez que os espelhos ao longo das linhas de fluxo se eliminam, então o primário já não se comporta como ideal.

A FIG. 27A mostra a mesma construção que a FIG. 25, em que o receptor 2720 tem neste exemplo a forma de V e em os troços do primário 2701 seguem a forma de numa curva 2721. Neste exemplo a curva tem a mesma forma que a da FIG. 19, e que conserva a *étendue* da luz/radiação reflectida para dois receptores. O primário também está constituído por espelhos 2702 ao longo de linhas de fluxo e espelhos 2703 que cruzam as linhas de fluxo. Estes espelhos 2703 também estão compostos por duas secções, tal como na FIG. 25. O espelho secundário 2704 começa na ponta 2705 do receptor 2720 e termina no ponto 2706 onde encontra o primário.

A FIG. 27B mostra a construção dos espelhos primário e secundário, que é o mesmo da FIG. 25. Um raio extremo vindo da direita e incidindo num dos pontos superiores de um espelho 2703 é reflectido como raio 2712, tangente ao receptor no ponto 2708. O raio extremo vindo da esquerda e reflectido no mesmo ponto do primário, origina o raio 2713, reflectindo-se por sua vez no espelho secundário no ponto 2714 e numa direcção tangente ao receptor no ponto 2708.

Um raio extremo vindo da esquerda e incidindo num ponto mais baixo de um outro troço primário 2703 é reflectido na direcção 2709. Por outro lado, o raio extremo vindo da direita e reflectido no mesmo ponto do primário é mais uma vez reflectido pelo espelho 2702 ao longo da linha de fluxo numa direcção 2710, paralela a 2709. Ambos estes raios 2709 e 2710 são redireccionados para direcções tangentes ao receptor no ponto 2708 pelo arco parabólico 2711 do espelho secundário.

A FIG. 28 mostra uma óptica primário-secundário com dois

receptores. É obtida a partir da construção da FIG. 27A. Os espelhos do tipo linha de fluxo 2702 são eliminados, deixando apenas espelhos primários 2703. Os espelhos 2703 são então duplicados por reflexão simétrica com 2707 como eixo de simetria, resultando assim a secção 2801 do primário. A secção 2803 pode também ser dividida em espelhos mais pequenos, simplesmente cortando-os com linhas verticais. A concentração produzida pelo primário é aumentada pelo secundário 2802.

Este sistema óptico é também estendido à esquerda e à direita por simetria de reflexão com 2804 e 2805 como eixos de simetria.

A FIG. 29 mostra uma melhor forma de realizar a invenção. Mostra um concentrador semelhante ao da FIG. 28, mas concebido para um ângulo de aceitação menor de $\pm 0,01$ rad. Tem uma eficiência de cerca de 85% e atinge 85% da concentração máxima possível. Este resultado já tem em conta o sombreamento provocado pelo receptor e secundário sobre o primário.

A linha vertical 2902 corresponde à linha vertical 2707 na FIG. 28. A linha 2901 corresponde à linha simétrica da linha 2707 relativa ao eixo de simetria 2804. Este sistema estende-se à esquerda e à direita por simetria de reflexão com 2901 e 2902 como eixos de simetria. De notar que se 2901 e 2902 forem espelhos planos verticais, esta óptica comporta-se como um concentrador para um receptor em V.

A FIG. 30 mostra outro exemplo de realização da presente invenção com um primário alternativo ao da FIG. 25. A concepção em ambas figuras é bastante semelhante, excepto pelo pequeno

espelho plano 2506 que agora é substituído pelo espelho maior também plano 3001 e pelo facto de a linha de fluxo 2505 que agora não está presente neste da FIG. 30.

Esta óptica ainda produz concentração máxima no receptor 3002. Toda a luz/radiação incidente entre os pontos extremos 3003 e 3004 dos espelhos primários perde-se. Também toda a radiação incidente num ponto 3005 do espelho 3001 e reflectida nas direcções contidas entre 3006 e 3007 é sombreada pelo espelho 3008 e perdida. O tamanho do receptor é tal que a *étendue* que pode receber se ajusta a toda a que é reflectida (metades esquerda e direita) na sua direcção. Quando isto acontece o secundário toca no primário no seu ponto extremo 3009.

A geometria nesta figura pode ser considerada uma alternativa àquela na FIG. 25 para o desenho do secundário. Poderia notar-se que o secundário obtido para este novo primário descontínuo é o mesmo obtido para o primário contínuo da FIG. 25. Pode então ver-se que um primário contínuo não é uma condição necessária para o desenho de um secundário contínuo.

Tal como no caso do secundário da FIG. 25, a porção 3010 do espelho secundário é uma parábola com eixo paralelo aos raios 3012 e foco no extremo oposto 3011 do receptor. Os troços 3013 e 3014 do secundário são calculados da mesma forma que na FIG. 25.

Esta forma de construir o primário partilha princípios semelhantes aos utilizados no desenho da metade esquerda da lente de *Fresnel* mostrada na FIG. 24, em que agora as superfícies sem função óptica 2412 corresponderiam a espelhos

sem função óptica e foram removidos.

A FIG. 31 apresenta um concentrador para dois receptores, mas em que o primário, em vez de ter a forma de uma onda como nos casos anteriores, agora é plano. Esta figura mostra um primário plano de *Fresnel* ideal, entendendo-se de 3103 a 3109 para dois receptores pontuais 3101 e 3102. Por ideal quer-se significar que o primário é constituído por um número infinito de troços infinitesimais. Do ponto 3103 ao ponto 3105 a luz/radiação é reflectida para o receptor 3101 somente. Entre os pontos 3105 e 3108, a luz/radiação é reflectida para ambos os receptores 3101 e 3102. Neste exemplo o sistema como um todo é simétrico relativamente ao ponto médio da superfície 3107.

A reflexão de luz/radiação pelo espelho de *Fresnel* é tal que a bissetriz ao ângulo dos raios extremos vai na direcção 3101 (ou 3102).

Para um ponto 3104 entre pontos 3103 e 3105 no reflector, o desajuste da *étendue* entre a radiação incidente e a reflectida para o receptor 3101 é dado por $\Delta U_1 = 2 \sin \theta (1 - \cos \phi_1) dx$. Para outro ponto 3106 entre pontos 3105 e 3108, o desajuste de *étendue* entre a da radiação incidente e a que se reflecte idealmente para os receptores 3101 e 3102 é $|\Delta U_2| = 2 \sin \theta |1 - \cos \phi_1 + \cos \phi_2| dx$ onde $|a|$ é o valor absoluto (módulo) de a . O valor absoluto na expressão para ΔU_2 garante que o desajuste de *étendue* é sempre considerado como uma quantidade positiva quando se integra para todo o concentrador de *Fresnel*. Destas expressões pode ver-se que a *étendue* da radiação incidente não se ajusta ao que o reflector de *Fresnel* deveria idealmente emitir para o receptor. Os parâmetros do sistema óptico devem agora ser ajustados de tal

forma que se minimize o desajuste da *étendue*. A altura dos receptores (a distancia do ponto 3103 ao 3101) pode ser considerada como um factor de escala para todo o sistema e pode, portanto, ser definida como tendo um valor unitário. Se o receptor estiver a uma altura diferente tudo deverá ser escalado na respectiva proporção. Os parâmetros para ajustar são agora a distancia entre receptores (distancia entre 3101 e 3102) e a coordenada horizontal x_T do ponto de transição de um para dois receptores.

O desajuste total de *étendue* é proporcional ao integral de $\Delta U_1 + |\Delta U_2|$ desde x_0 (ponto 3103) até x_M (ponto 3107). Este integral deverá ser minimizado com respeito aos parâmetros da óptica: coordenada horizontal x_T e distancia entre receptores.

A FIG. 32 mostra as dimensões relativas globais de um primário de *Fresnel* plano optimizado. Neste caso todos os troços reflectores estão no mesmo plano. O ângulo α_T medido da vertical do receptor 3101 para o ponto de transição 3105 de um para dois receptores é $\alpha_T = 32,6^\circ$. O ângulo α_M medido da vertical do receptor 3101 para o ponto intermédio 3107 do primário é $\alpha_M = 61,2^\circ$. Isto estabelece $D = 3,643H$ em que H é a altura dos receptores 3101 e 3102 e D a distância entre eles. O receptor 3101 recebe luz/radiação do lado direito, do ponto 3103 até ao ponto 3108. O ângulo limite α_R medido da vertical do receptor 3101 e até ao ponto 3108 é dado por $\alpha_R = 71,6^\circ$.

A FIG. 33 mostra o desajuste de *étendue* ao longo do primário para a geometria optimizada da FIG. 32. O eixo horizontal 3301 tem a coordenada x representando a distância ao

longo do primário e o eixo vertical 3302 tem a coordenada U representando o desajuste da *étendue* para cada ponto do primário. Esta figura representa o desajuste da *étendue* por unidade da *étendue* incidente. A *étendue* disponível por unidade da *étendue* disponível tem claramente o valor um (unitário) ao longo do primário de *Fresnel* e está representada como uma linha horizontal 3303 com $U=1$.

Para pontos 3104 no primário entre o ponto 3103 e 3105, a *étendue* que o reflector de *Fresnel* deveria emitir para o receptor 3101 é dada por $2\sin\theta \cos\phi_1 dx$ e a *étendue* da radiação incidente é $2\sin\theta dx$. Portanto, por unidade de *étendue* incidente o primário deveria emitir uma *étendue* de valor $\cos\phi_1$. Isto está representado pela curva 3304.

Para os pontos 3106 no primário entre o ponto 3105 e 3108, a *étendue* que o reflector de *Fresnel* deveria emitir para os receptores 3101 e 3102 é dada por $2\sin\theta (\cos\phi_1 + \cos\phi_2) dx$ e a *étendue* da radiação incidente é $2\sin\theta dx$. Assim, por unidade de *étendue* incidente, o primário deveria emitir uma *étendue* com o valor $\cos\phi_1 + \cos\phi_2$. Isto está representado pela curva 3306.

A curva 3305 é simétrica da 3304 com relação ao ponto médio do reflector de *Fresnel*.

Comparando as curvas 3304 e 3306 representando a *étendue* da luz/radiação que o reflector de *Fresnel* deveria emitir para os respectivos receptores com a linha recta 3303 que representa a *étendue* disponível em cada ponto, pode observar-se que há pontos com excesso de *étendue* disponível e outros com deficit da mesma.

Para os pontos à esquerda de 3105, a *étendue* que o reflector deveria emitir para receptor 3101 é menos que a *étendue* disponível (linha $U=1$). Isto quer dizer que alguma *étendue* deve perder-se no reflector e que haverá sombreamento entre as micro-estruturas do primário (helióstatos infinitesimais). Por outro lado, para pontos no reflector de *Fresnel* entre 3105 e 3108, a curva 3306 algumas vezes está por cima da linha 3303. Isto quer dizer que a *étendue* que o reflector de *Fresnel* deveria estar a emitir na direcção dos receptores 3101 e 3102 é superior à disponível. Isto quer dizer que, vistos dos receptores, os reflectores de *Fresnel* terão "zonas negras" que não emitirão luz/radiação. Para a zona em que a curva 3306 está sob 3302, a *étendue* necessária é menor que a disponível e há sombreamento de luz/radiação no reflector de *Fresnel*.

No ponto 3105 onde se dá a transição de um para dois receptores, a distância vertical entre a curva 3306 e 3303 e entre a curva 3304 e 3303 são iguais entre si e dadas por 3307, com um valor de 0,158 (ou 15,8%).

A FIG. 34 mostra a geometria de um concentrador para um ângulo de aceitação 2θ . Uma vez que a geometria global do sistema óptico tenha sido determinada (como se mostra na FIG. 32), o ângulo de aceitação 2θ da óptica determina a largura do receptor como sendo a distância entre os pontos 3401 e 3402 (em geral, os raios extremos são tangentes ao receptor). Se o receptor é plano entre aqueles dois pontos, não pode acomodar toda a *étendue* emitida por um reflector de *Fresnel* grande estendendo-se de 3103 a 3108 e pelo seu simétrico. Isto quer dizer que o receptor não pode ser plano, devendo possuir algum tipo de forma convexa para que o seu comprimento possa acomodar toda a *étendue* emitida para

ele pelo reflector de *Fresnel*. Uma possibilidade (mas de forma nenhuma a única) é a de um receptor em forma de V.

A FIG. 35 mostra um concentrador para um receptor em V 3501 composta por um primário ideal e um secundário. O primário é constituído por um número infinito de estruturas/troços infinitesimais e estende-se do ponto 3103 ao 3108. O secundário 3502 começa na extremidade do receptor e estende-se até ao extremo 3108 do primário. São também mostrados os caminhos de alguns raios extremos 3503.

A FIG. 36 mostra um concentrador similar ao da FIG. 35, mas agora com um receptor em forma de *U*. O receptor tem paredes planas 3601 e uma base curva 3602. Os raios extremos 3603 são reflectidos segundo direcções tangentes ao receptor.

A FIG. 37 mostra outro concentrador semelhante ao da FIG. 36 mas em que agora o receptor está formado por uma série de tubos circulares. Os tubos estão agrupados de forma a ficarem tangentes ao receptor com a forma de *U* 3701. Outras formas de receptores são possíveis com o mesmo tipo de metodologia.

A FIG. 38 mostra um concentrador para um receptor com a forma de um V 3801 composto por um primário 3802 e um secundário 3803. A geometria global desta óptica está baseada na da FIG. 35, mas agora o primário tem troços de dimensões finitas, concebidos de acordo com o método desenvolvido na FIG. 25. Estes troços podem também ser concebidos de acordo com o método mostrado na FIG. 30. O secundário 3803 começa no extremo do receptor e estende-se até ao extremo do primário.

As linhas de fluxo 3805 podem agora ser eliminadas e é conferida simetria aos espelhos 3806 com relação à linha vertical 3804 que passa no ponto intermédio 3107.

O primário reflecte um conjunto de raios extremos de forma a serem tangentes ao receptor. No caso de um receptor em V, isto quer dizer que para a esquerda do ponto 3807 um conjunto de raios extremos é concentrado no ponto 3808, enquanto que para a direita de 3807, este mesmo conjunto de raios extremos é reflectido para o ponto 3809. O outro conjunto de raios extremos é concentrado no ponto 3809 depois de reflexão no secundário 3803. O ponto 3807 está neste exemplo na linha recta que passa nos pontos 3808 e 3809.

A FIG. 39 mostra o concentrador que se obtém eliminando as linhas de fluxo e espelhando os troços que restam em torno da linha vertical através do ponto 3107. Neste processo há espelhos que intersectam ou sombreiam outros espelhos. As porções de espelhos acima das intersecções ou as que sombreiam outros são aparadas. Isto resulta num primário cujos helióstatos não se intersectam ou sombreiam mutuamente.

O primário 3901 reflecte agora para ambos os receptores em V e o secundário 3902 é truncado para permitir a luz/radiação chegar ao primário.

A FIG. 40 mostra uma melhor forma de realizar a invenção. Mostra um concentrador semelhante ao da FIG. 39, mas concebido para um ângulo de aceitação mais pequeno e de $\pm 0,01$ rad.

A FIG. 41 mostra um espelho secundário e um receptor. A

FIG. 41A apresenta uma possível configuração com um espelho secundário 4101 e um receptor em V 4102 semelhante aos utilizados em algumas das figuras anteriores. O espelho toca o receptor no seu ponto extremo 4103. Isto pode constituir um problema já que o receptor pode ficar demasiado quente durante a operação do concentrador solar e este calor excessivo poderá provocar a danificação dos espelhos e criar um curto circuito térmico por onde o calor do receptor se poderá escapar criando perdas térmicas ao sistema e reduzindo a sua eficiência.

A FIG. 41B apresenta uma modificação da geometria da FIG. 41A em que o receptor em V é substituído por um receptor com a forma de um Δ invertido 4106 delimitado por uma face convexa 4108 e uma face plana 4107. Os espelhos secundários são agora aumentados por dois arcos de circunferência, 4105 com centros 4104 e o seu simétrico. Agora só há um ponto de contacto entre o espelho secundário e o receptor no ponto intermédio da sua face superior 4107. O secundário para um receptor triangular tem uma derivada descontínua (vinco) no ponto 4103.

A FIG. 41C mostra uma melhor forma de realizar a invenção e apresenta a modificação da geometria da FIG. 41B, na qual a superfície de plana de topo 4107 do receptor foi substituída por uma superfície côncava 4109. A parte inferior e convexa 4108 do receptor neste exemplo tem forma de V. A nova superfície 4109 pode ser circular com centro 4110. Assim já não há contacto físico entre o espelho secundário e o receptor. Contudo a concentração será menor porque o receptor apresenta uma superfície maior. Se, contudo, o receptor for um corpo negro perfeito, a emissão da superfície côncava 4109 é equivalente à da superfície plana 4107 e o concentrador comportar-se-á como se

tivesse concentração ideal (se apenas se tiverem em consideração perdas radiativas).

A FIG. 42 mostra outro exemplo de realização da presente invenção um concentrador para um receptor com a forma de um Δ invertido mas com um espelho secundário suave (com derivada contínua). O troço de primário entre os pontos 4201 e 4202 concentra um conjunto de raios extremos no ponto 4204 acima do espelho secundário. Estes raios extremos são então concentrados para o extremo inferior 4205 do receptor em forma de Δ invertido pelo arco hiperbólico 4206 com focos 4204 e 4205. O arco hiperbólico 4209 é simétrico do 4206 com respeito à linha vertical que passa no extremo inferior 4205 do receptor. O espelho secundário tem também um arco circular 4211 com centro em 4207.

O outro conjunto de raios extremos reflectidos pelo primário entre os pontos 4201 e 4202 é concentrado no extremo inferior 4205 do receptor por uma porção do secundário à direita do arco hiperbólico 4209. Esta porção de secundário é concebida da mesma forma que a porção do secundário tocando no receptor 3501 da FIG. 35.

A porção do primário entre os pontos 4202 e 4203 concentra um conjunto de raios extremos na extremidade inferior do receptor 4205, enquanto que outro conjunto de raios extremos é reflectido pelo espelho secundário para a extremidade inferior 4205 do receptor. Mais uma vez o procedimento é semelhante ao da concepção do espelho secundário direito da FIG. 35.

A FIG. 43 apresenta um concentrador semelhante ao da FIG.

39. Agora o ponto extremos inferior 4301 do receptor em V moveu-se para baixo com relação à sua posição ideal, aumentando o tamanho do receptor. O secundário resultante 4302 já não se estende até ao extremo do primário. Dependendo do aumento de tamanho do receptor, poderá ser ou não ser necessário truncar o espelho secundário para um funcionamento óptimo. O concentrador resultante tem uma eficiência mais elevada, já mais luz/radiação é captada agora pelo secundário, mas pagando-se o preço de uma concentração mais baixa, pois o receptor aumentou de tamanho.

A FIG. 44 mostra um concentrador semelhante ao da FIG. 35 para um receptor em forma de V 3501. Esta figura mostra linhas de fluxo (ou linhas-G) 4401 e as linhas normais a elas ou linhas-F, 4402. Linhas-G são bissetrizes do ângulo dos raios extremos em cada ponto a estão na direcção da propagação de luz/radiação. As linhas-F também estão na bissetriz do ângulo que os raios extremos fazem em cada ponto, mas seguem a direcção perpendicular à da propagação de luz/radiação e, portanto, são também perpendiculares/normais às linhas-G em cada ponto.

A FIG. 45 uma melhor forma de realizar a invenção. Mostra o concentrador da FIG. 44 com um secundário truncado 4502. O receptor 3501 está agora protegido por uma cobertura transparente 4503 com a forma de uma linha-F. Esta forma minimiza o valor dos ângulos de incidência da luz/radiação na cobertura transparente, e portanto minimiza as perdas *Fresnel* de reflexão. As linhas-F podem por vezes ser bem aproximadas por formas simples como arcos de circunferência.

Entre a cobertura transparente e o receptor há espelhos 4504, espelhados em ambos os lados, com a forma de linhas-G (ou

linhas de fluxo). Estes espelhos não afectam o fluxo de luz/radiação e, portanto, não afectam o comportamento óptico da óptica. As linhas-G podem por vezes ser aproximadas por formas simples como segmentos de recta.

Quer a cobertura transparente 4503 quer os espelhos internos 4504 ajudarão a reduzir as perdas por convecção em torno do receptor, reduzindo as perdas térmicas.

O primário estende-se do ponto 3108 à direita até ao ponto 4501 à esquerda. Os pontos extremos do primário são simétricos com respeito ao ponto intermédio 3103.

A FIG. 46 mostra outro exemplo de realização da presente invenção. Mostra o receptor V da FIG. 45, mas com a cobertura curva transparente 4503 substituída por uma cobertura transparente facetada. Neste exemplo, o número de facetas é apenas igual a dois, resultando numa cobertura transparente em forma de V 4601. A inclinação destas facetas, elementos planos transparentes, é calculada de tal forma que se minimize o ângulo médio 4602 entre as linhas-G (linhas de fluxo) 4404 e a normal 4503 à cobertura transparente 4601.

Também os espelhos internos (espelhados em ambos os lados) 4504, colocados ao longo de linhas-G, ajudam a reduzir convecção.

As perdas térmicas são ainda mais reduzidas com recurso a isolamento térmico 4604 na parte posterior do receptor em V. O sobreaquecimento dos espelhos secundários pode ser evitado/reduzido utilizando-se dissipadores de calor 4605. No

ponto 4606 deverá haver também algum tipo de isolamento térmico, entre o receptor e o espelho secundário, para prevenir uma ponte térmica entre os dois e que resulte em perdas térmicas.

A descrição acima expõe as formas de realização da presente invenção não é para ser considerada de forma limitativa, mas é simplesmente utilizada para explicar os seus princípios gerais. O âmbito completo da invenção será estabelecido com recurso e referência às reivindicações.

Lisboa, 19 de Maio de 2008

REIVINDICAÇÕES

1. Sistema óptico com concentrador primário de tipo *Fresnel* e concentrador secundário adjacente ao receptor, estando o conjunto secundário-receptor acima do primário, e caracterizado por o concentrador primário (2701) conter uma óptica escalonada cuja forma verifica a condição de que esta reflecte um conjunto de raios extremos (2712) de forma a serem tangentes ao receptor (2720) e outro conjunto de raios extremos (2713) na direcção do concentrador secundário (2704), cuja forma verifica a condição de que este, por sua vez, reflecte os raios extremos que recebe do concentrador primário em direcções tangentes ao receptor, produzindo aí, teoricamente, uma concentração máxima, e em que o concentrador secundário é truncado.
2. Sistema óptico de acordo com a reivindicação 1 caracterizado por o receptor ter uma face (4108) de forma convexa e também uma face plana (4107), e em que o concentrador secundário toca esta face plana em apenas um ponto e em que essa face plana poderá ser substituída por uma côncava (4109), resultando num secundário que não toca o receptor.
3. Sistema óptico de acordo com as reivindicações 1 ou 2 caracterizado por estarem ausentes algumas ou todas as porções da óptica escalonada que acompanham as linhas de fluxo (2702), deixando apenas aqueles troços (2703) que cruzam as linhas de fluxo, isto é, os helióstatos, e em que as eventuais porções contínuas (não escalonadas) do concentrador primário são também divididas em helióstatos.

4. Sistema óptico de acordo com as reivindicações anteriores caracterizado por os helióstatos poderem rodar sobre si próprios para acompanhar o movimento aparente diurno do sol.
5. Sistema óptico caracterizado por combinar por justaposição pelo menos dois sistemas ópticos de acordo com as reivindicações 3 ou 4 constituindo assim um concentrador com receptores múltiplos.
6. Sistema óptico de acordo com as reivindicações anteriores caracterizado por os helióstatos serem colocados sobre uma superfície com a forma de uma onda, com geometria cilíndrica, correspondendo, essencialmente, a uma curva que conserva opticamente a *étendue*.
7. Sistema óptico de acordo com a reivindicação 6 caracterizado por os helióstatos do concentrador primário serem planos ou curvos.
8. Sistema óptico de acordo com a reivindicação 6 caracterizado por a forma global do concentrador primário ser plana.
9. Sistema óptico de acordo com a reivindicação 8 caracterizado por todos os receptores estarem essencialmente à mesma altura e os ângulos medidos a partir da vertical que passa num dos receptores serem cerca de: $33 \pm 10^\circ$ com a linha que partindo do receptor, passa no ponto do primário que marca a transição entre um e dois

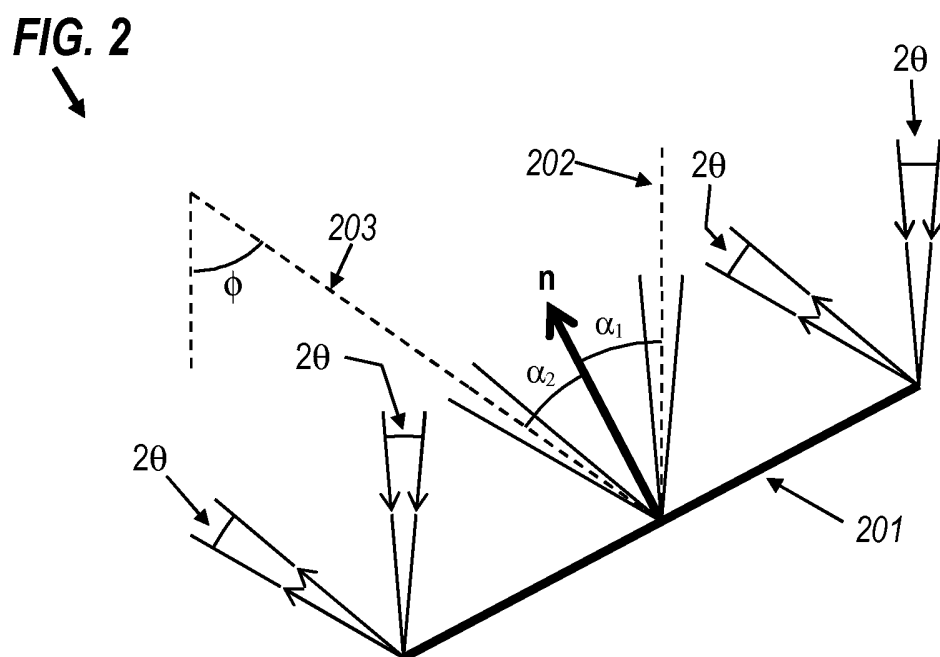
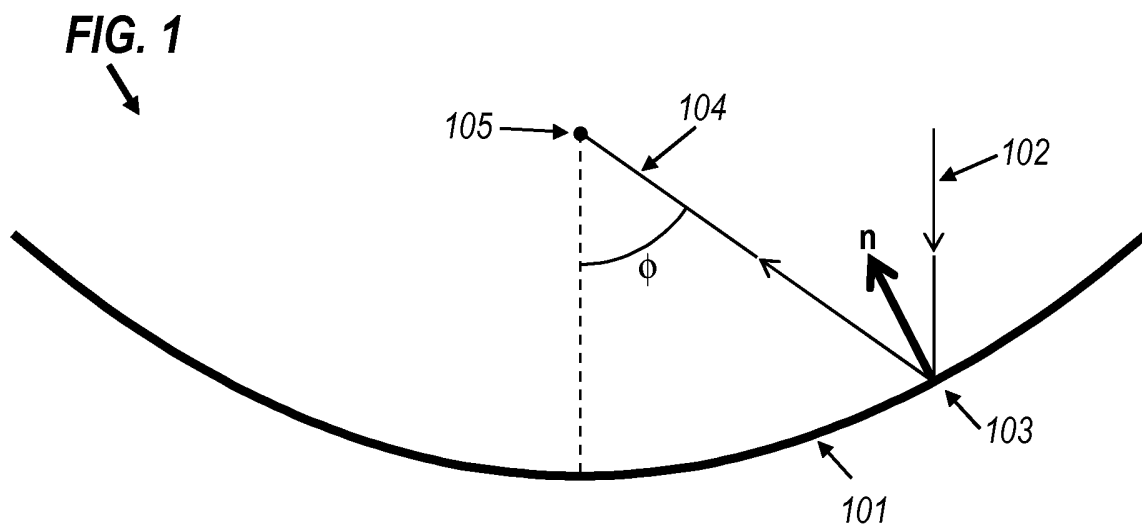
receptores (ângulo α_T), de $61\pm 5^\circ$ com a linha que passa no ponto intermédio da óptica primária (ângulo α_M) e de $71\pm 5^\circ$ com a linha que passa no outro ponto de transição de um para dois receptores (ângulo α_R).

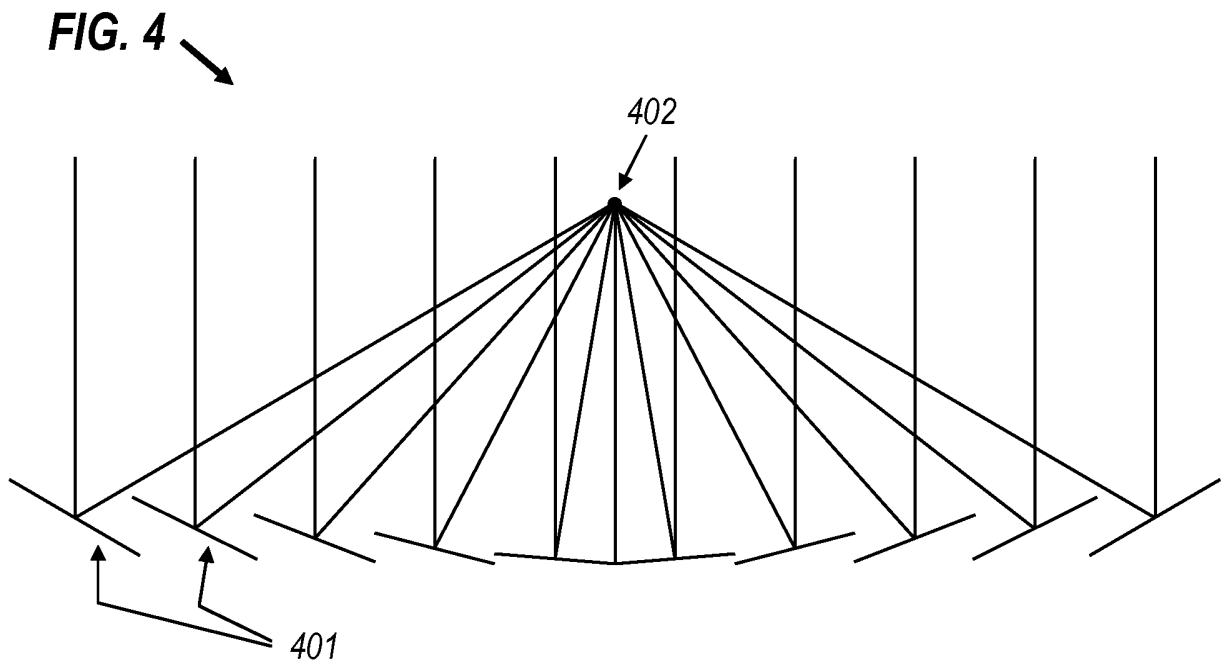
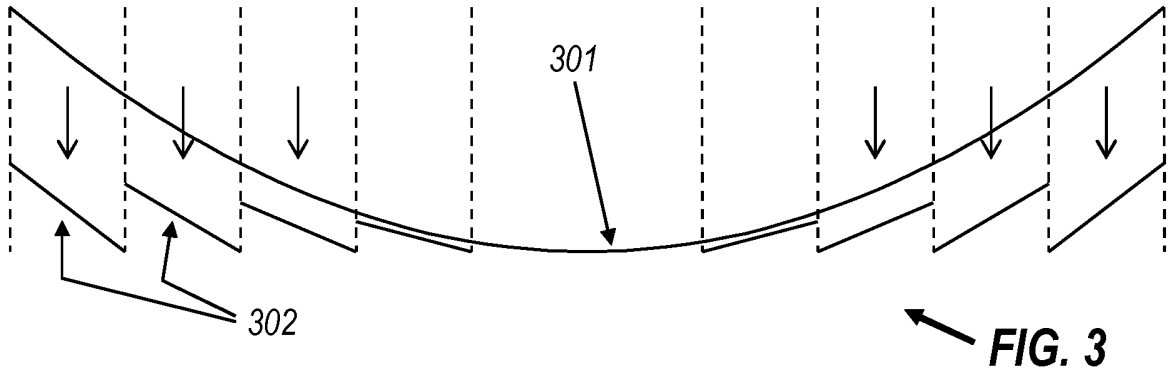
10. Sistema óptico de acordo com a reivindicação 9 caracterizado por os ângulos medidos a partir da vertical que passa num dos receptores serem: $32,6^\circ$ com a linha que partindo do receptor, passa no ponto do primário que marca a transição entre um e dois receptores, de $61,2^\circ$ com a linha que passa no ponto intermédio da óptica primária e de $71,2^\circ$ com a linha que passa no outro ponto de transição de um para dois receptores.
11. Sistema óptico de acordo com as reivindicações 6, 9 ou 10 caracterizado por não conter concentradores secundários junto dos receptores.
12. Sistema óptico de acordo com qualquer das reivindicações anteriores caracterizado por os receptores terem maior tamanho do aquele que teriam se dimensionados para uma concentração ideal ou máxima.
13. Sistema óptico de acordo com qualquer das reivindicações anteriores caracterizado por compreender coberturas transparentes (4503) essencialmente perpendiculares às linhas de fluxo e espelhos (4504) (espelhados em ambos os lados) que essencialmente acompanhem as linha de fluxo, para redução da convecção junto ao receptor.

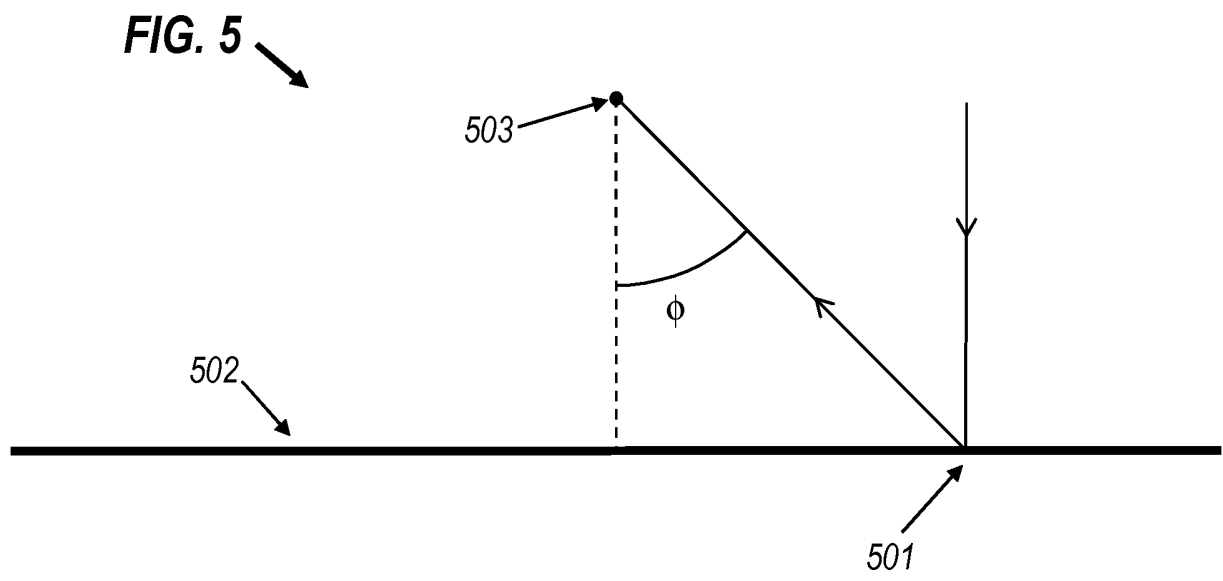
14. Sistema óptico de acordo com a reivindicação 13 caracterizado por compreender espelhos (4504) e/ou coberturas transparentes (4601), com a forma de linhas quebradas que essencialmente seguem as linhas de fluxo ou essencialmente são perpendiculares a elas, respectivamente, e em que as coberturas poderão ser simples ou duplas.

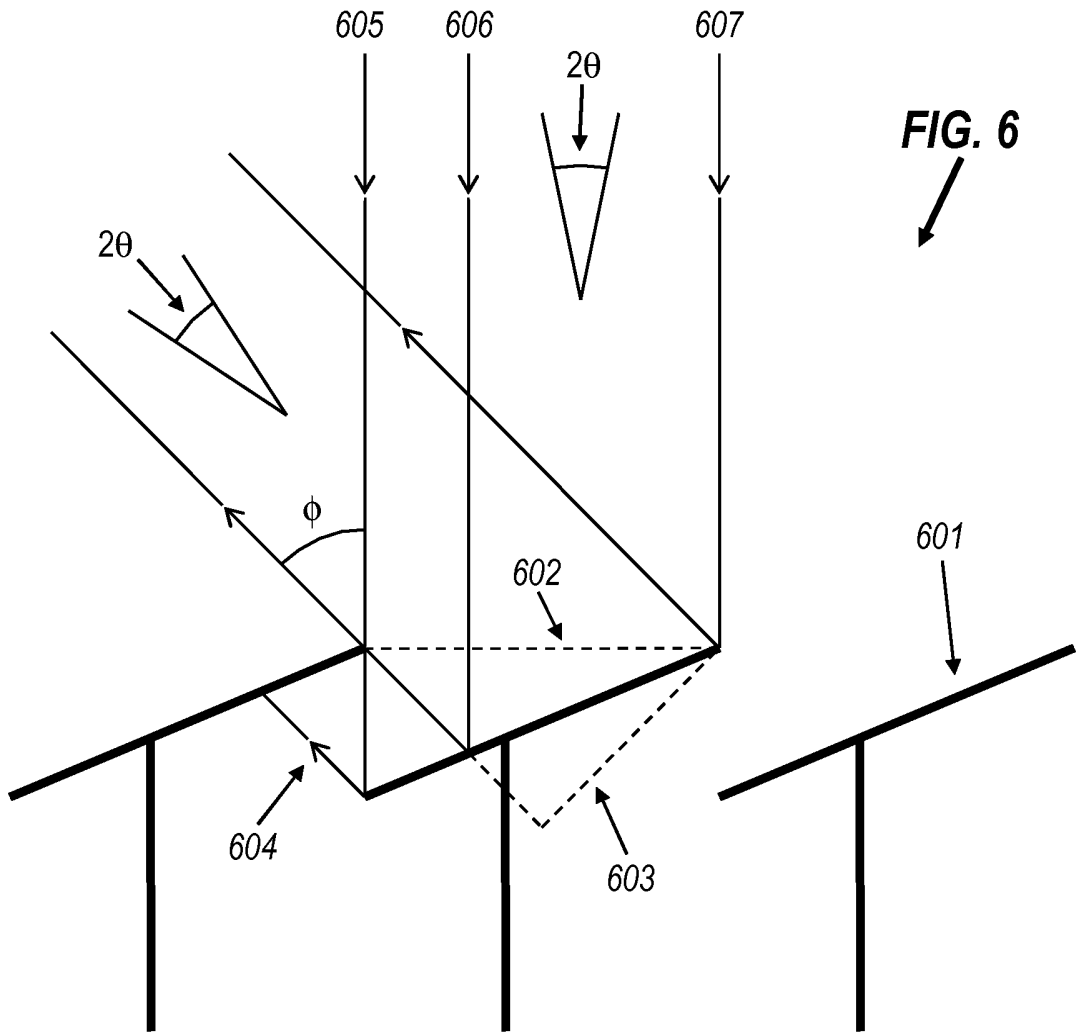
15. Utilização do sistema óptico de acordo com as reivindicações anteriores caracterizada por o sistema óptico ser aplicado na concentração da energia solar.

Lisboa, 22 de Julho de 2008









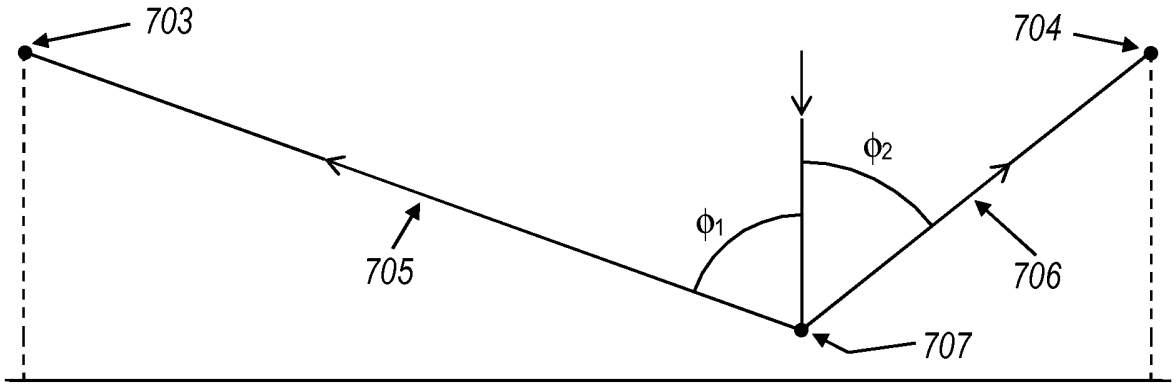


FIG. 7 ↗

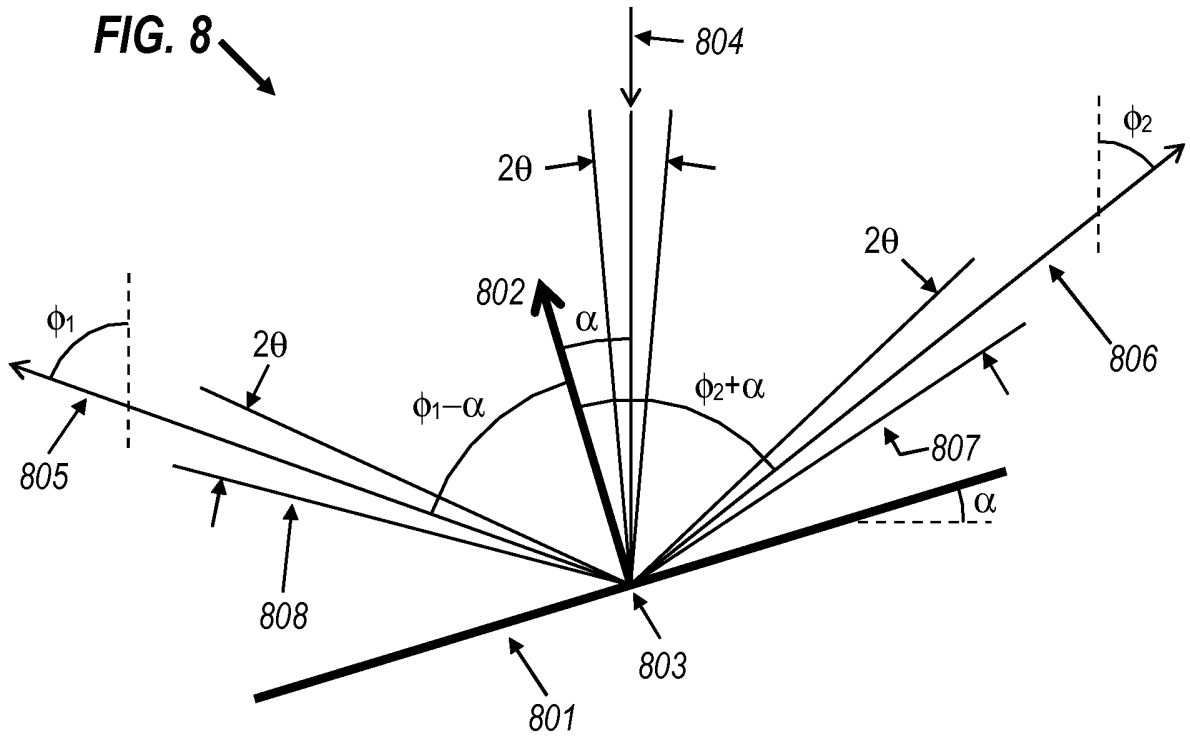


FIG. 8 ↘

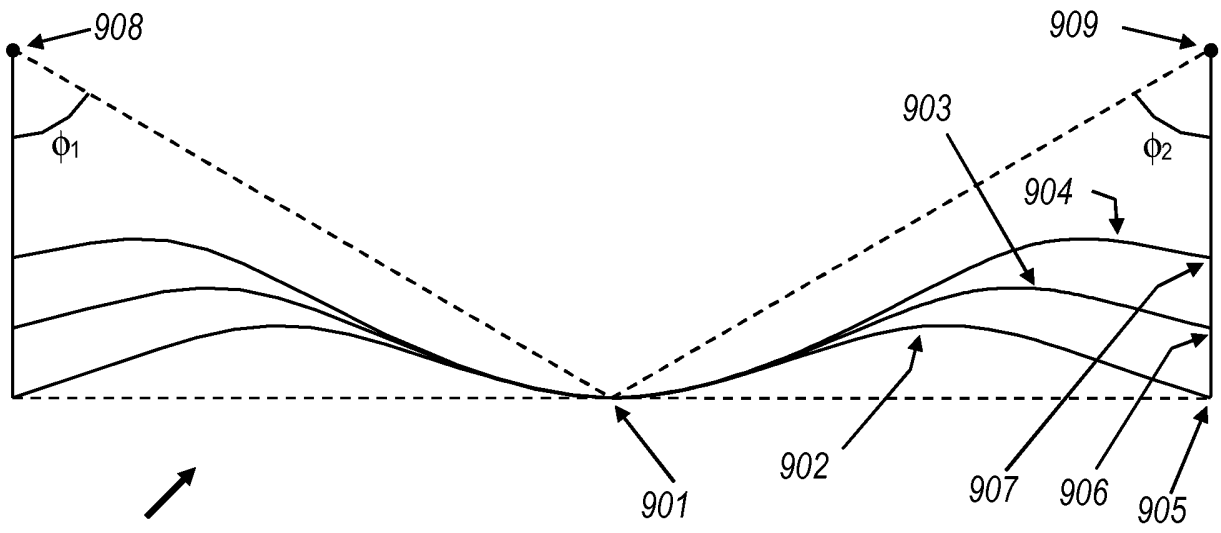


FIG. 9

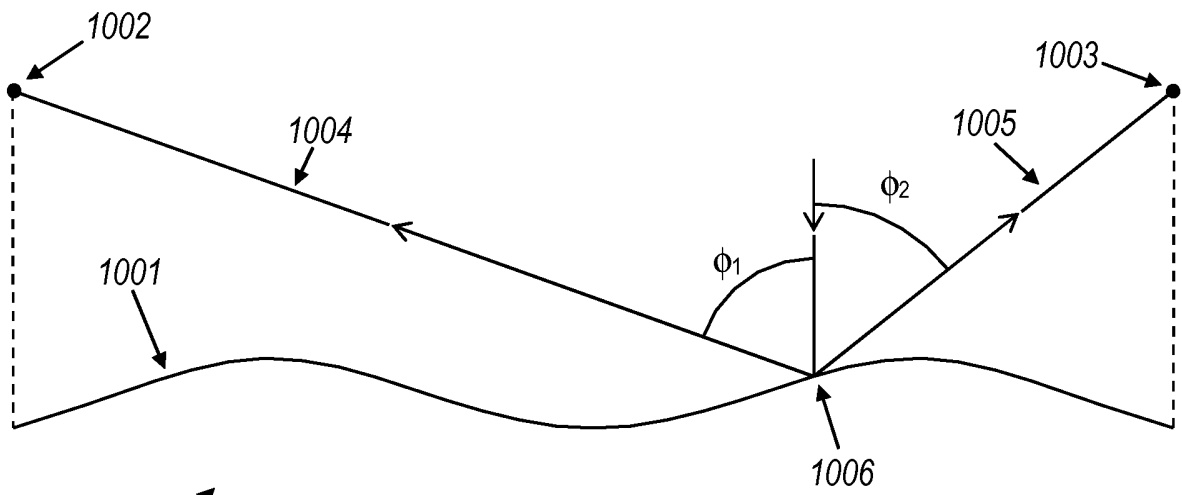
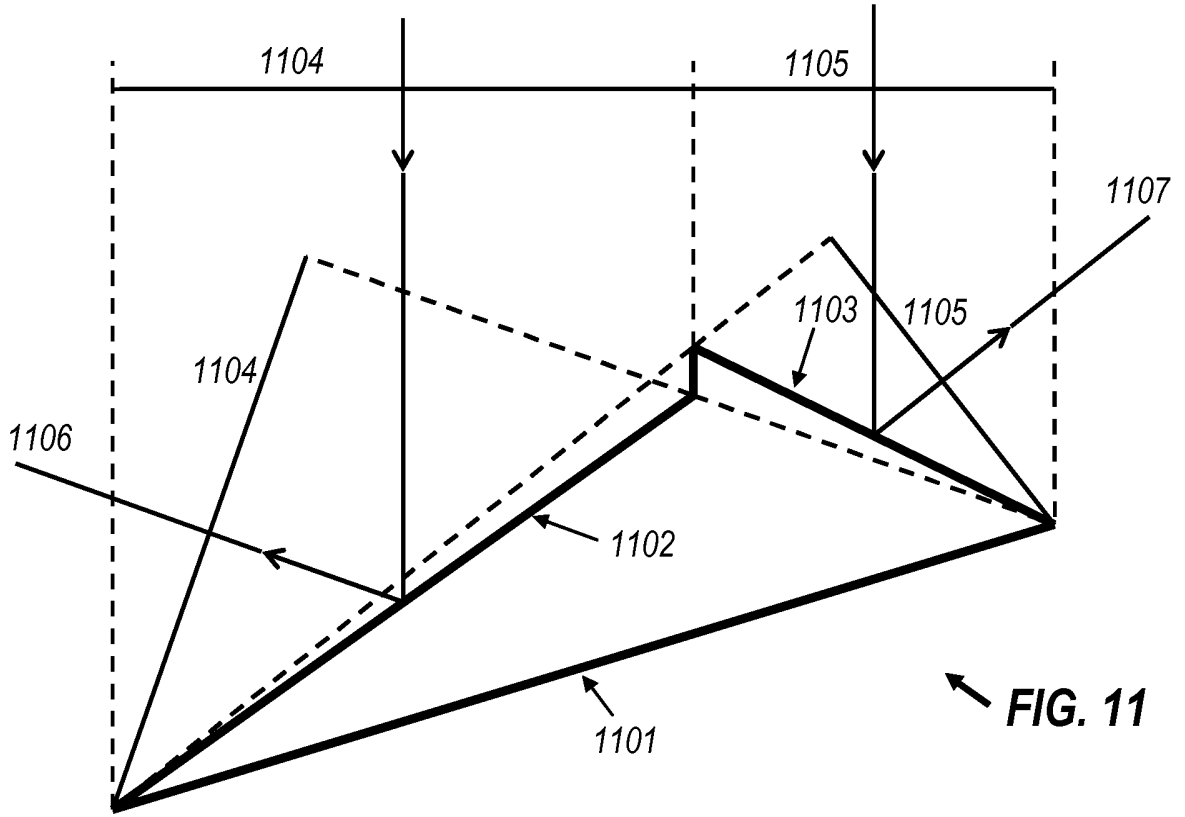


FIG. 10



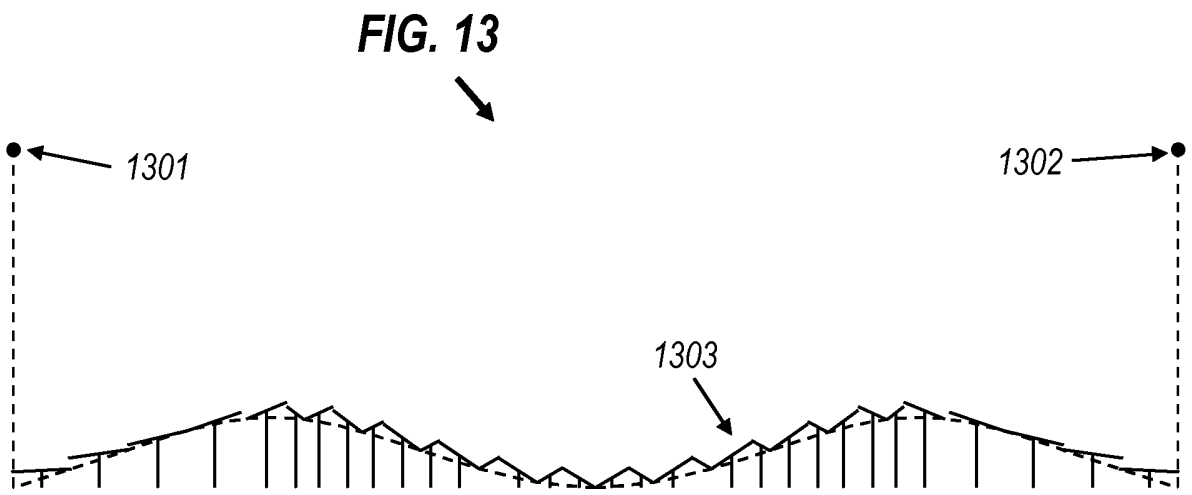
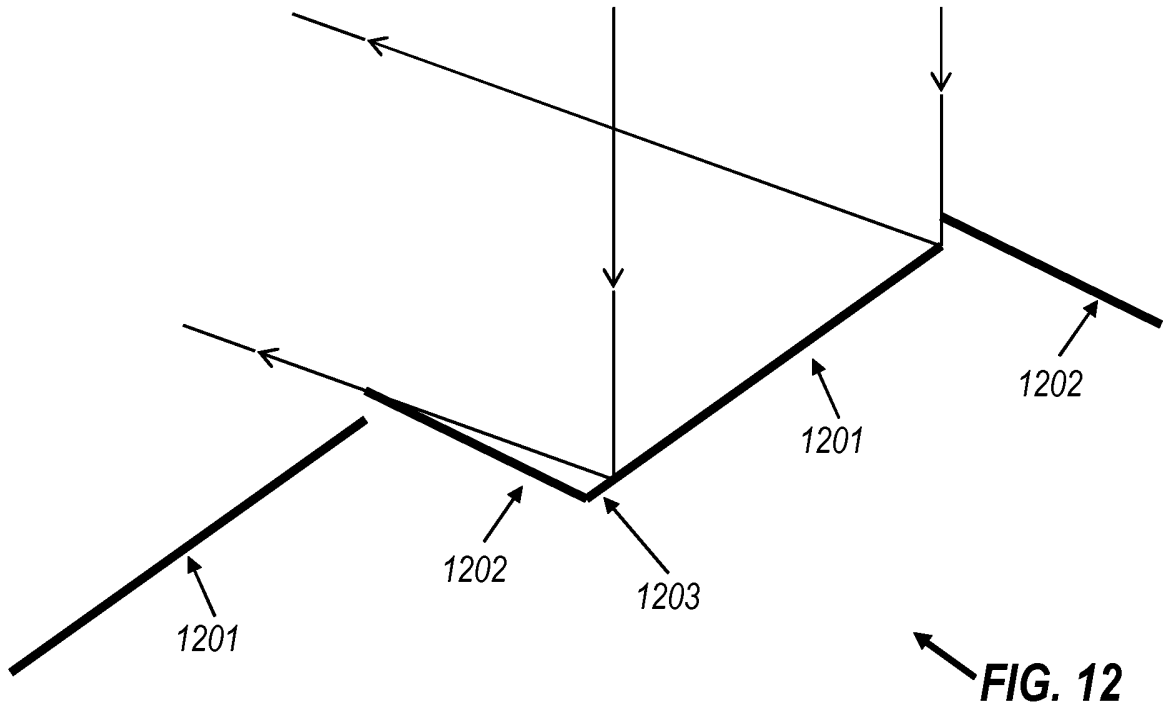


FIG. 14

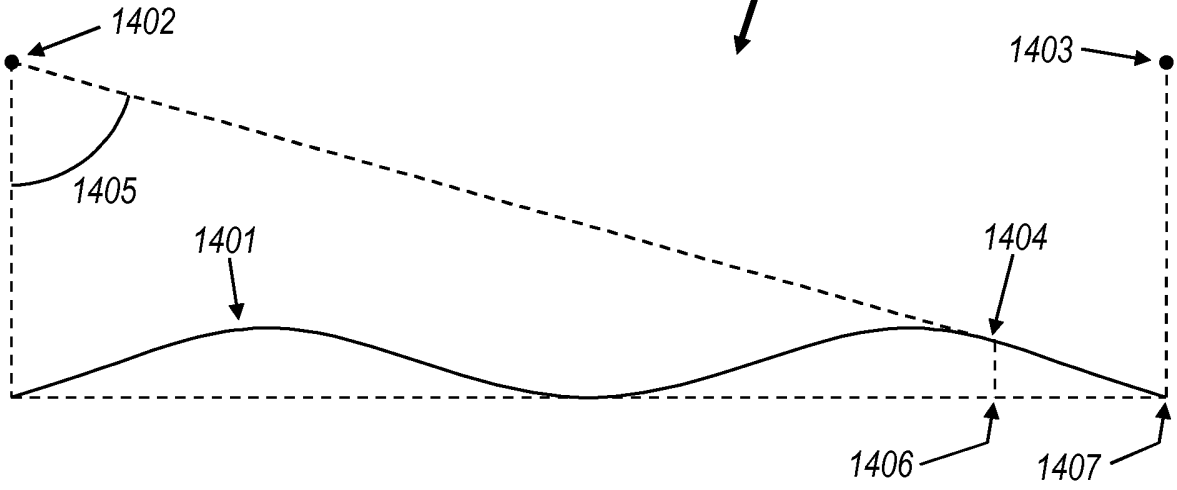
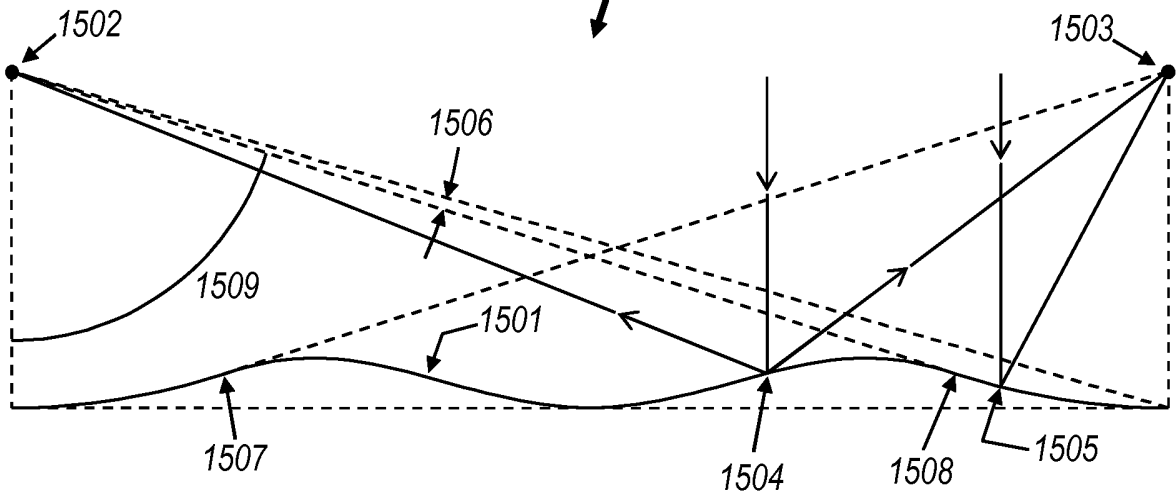


FIG. 15



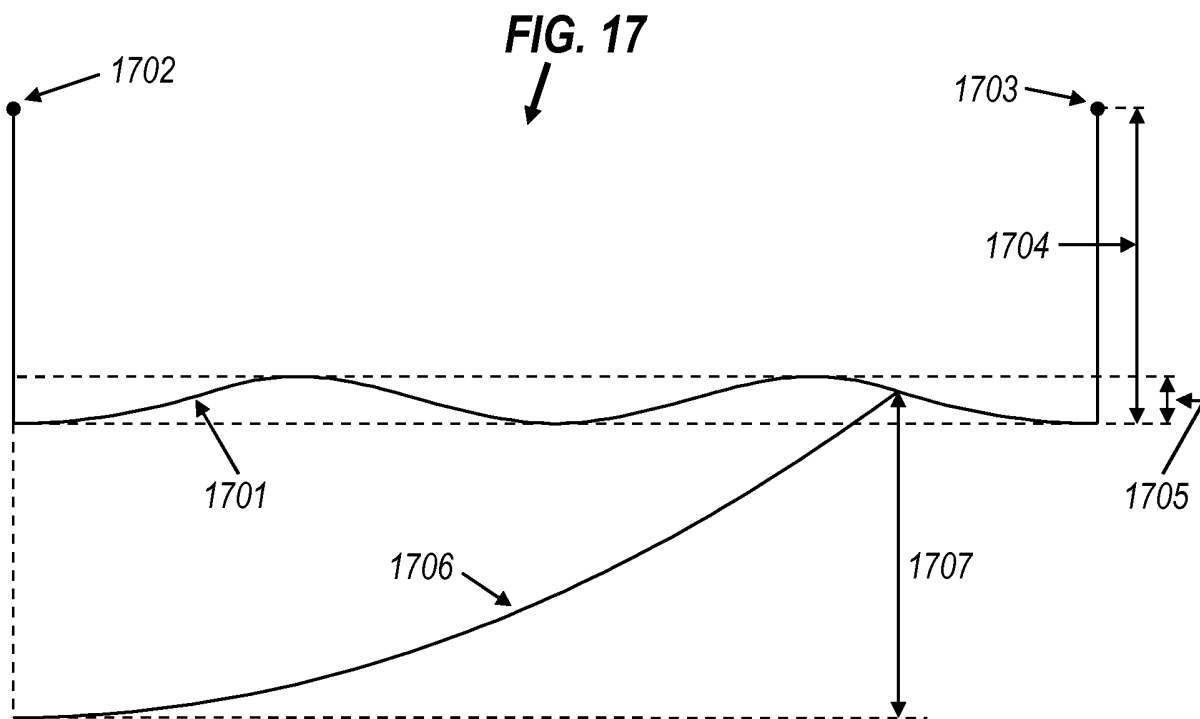
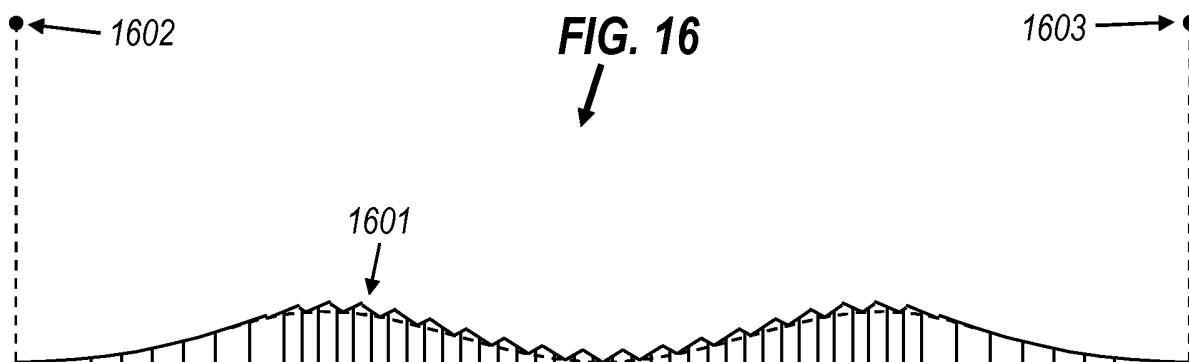


FIG. 18A

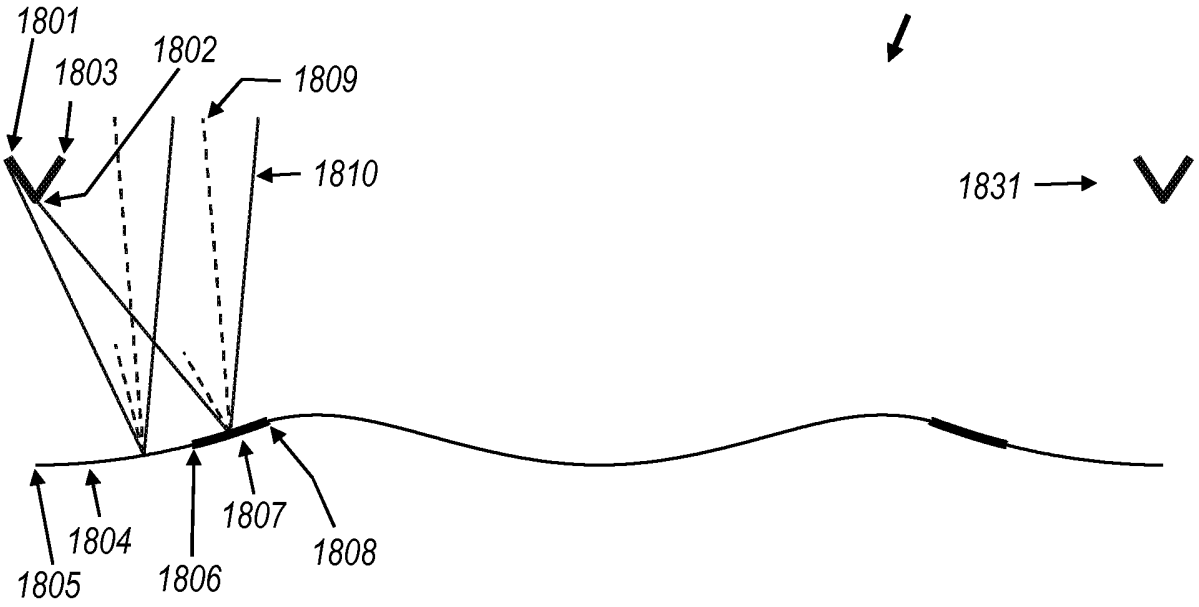
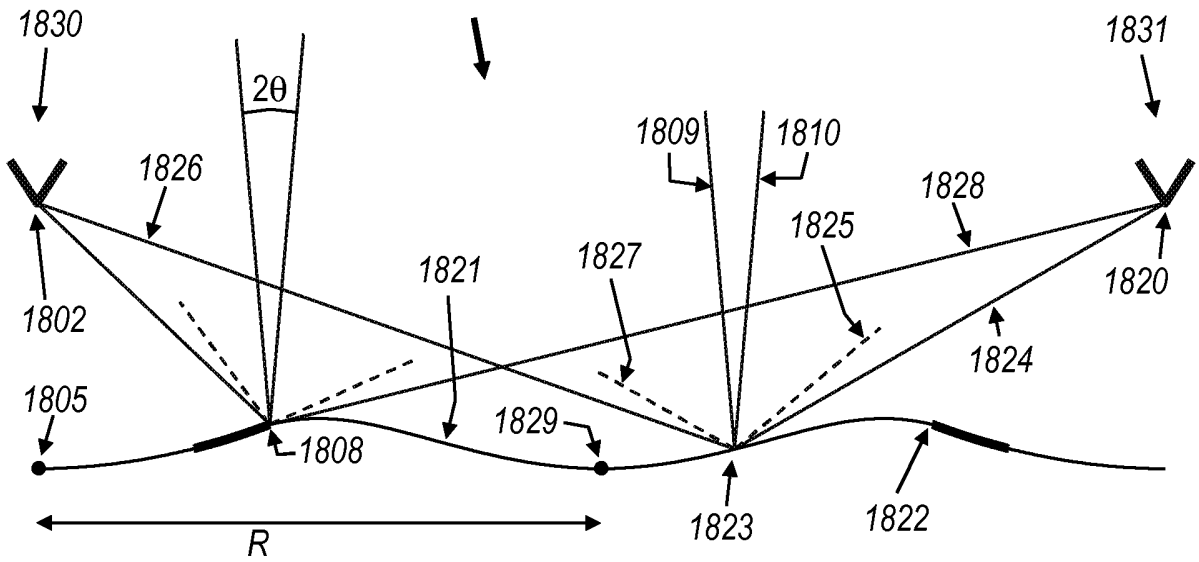


FIG. 18B



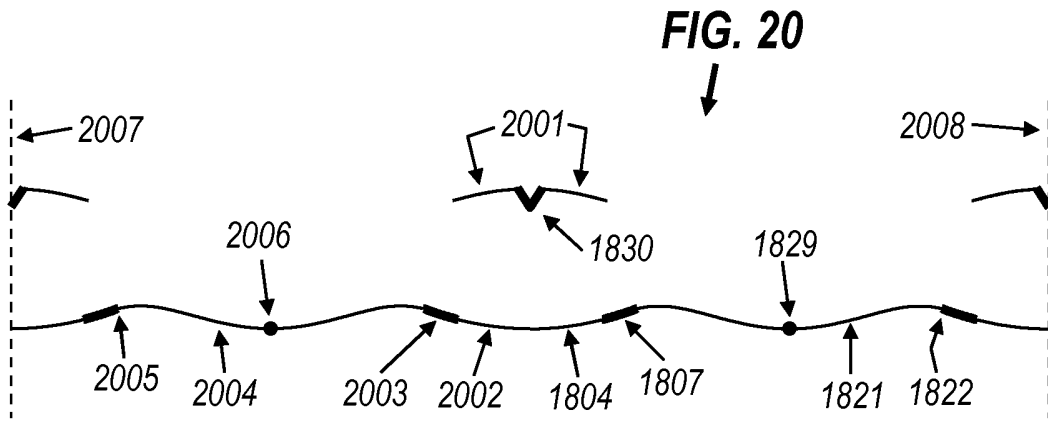
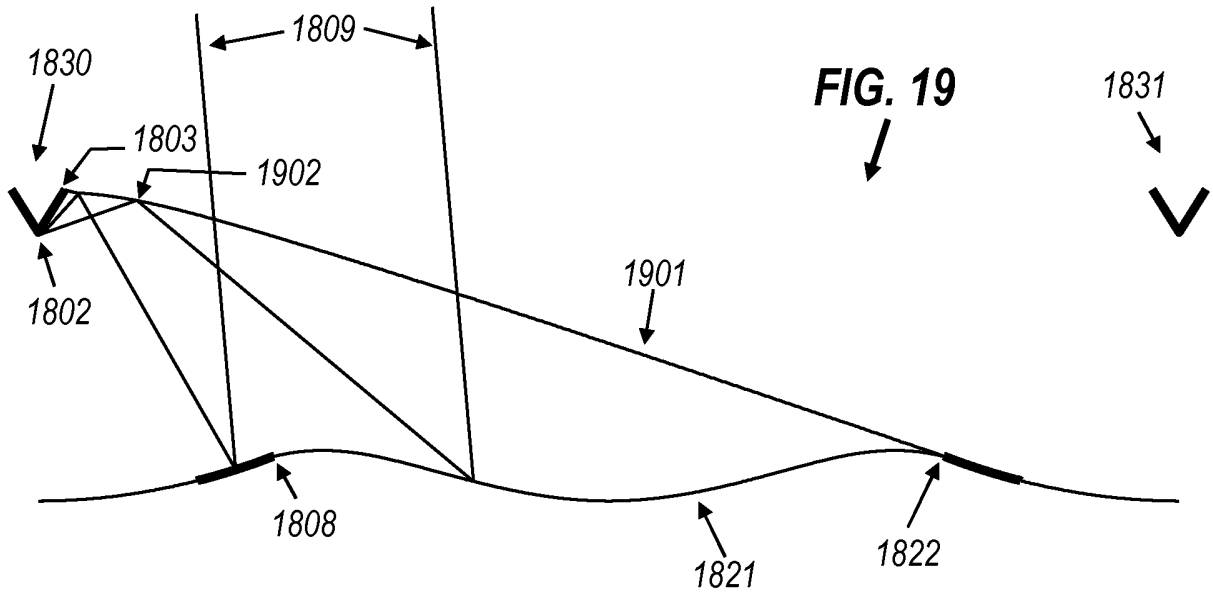


FIG. 21

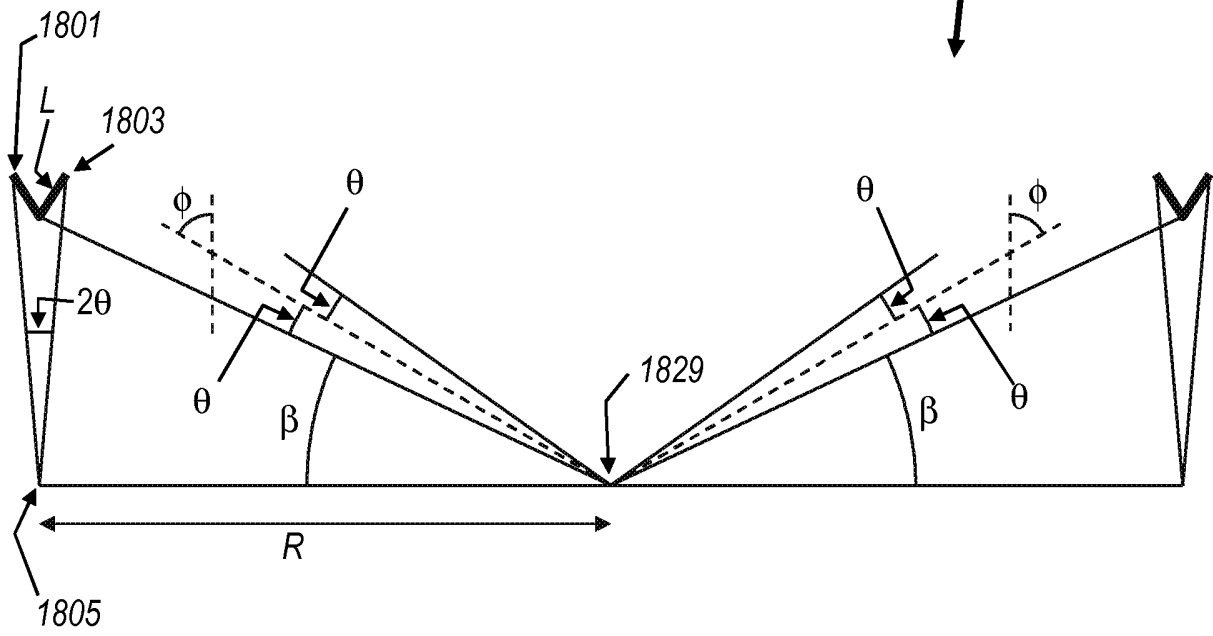
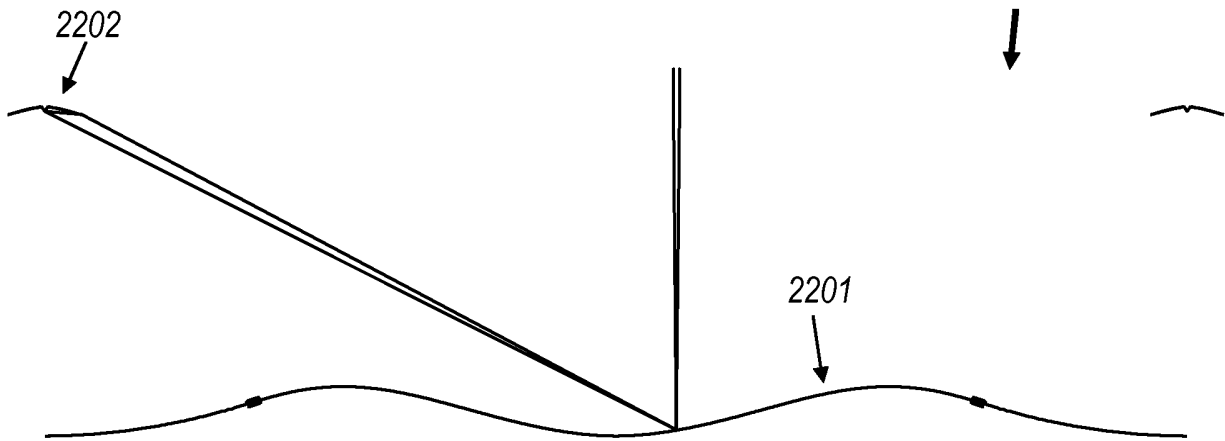


FIG. 22



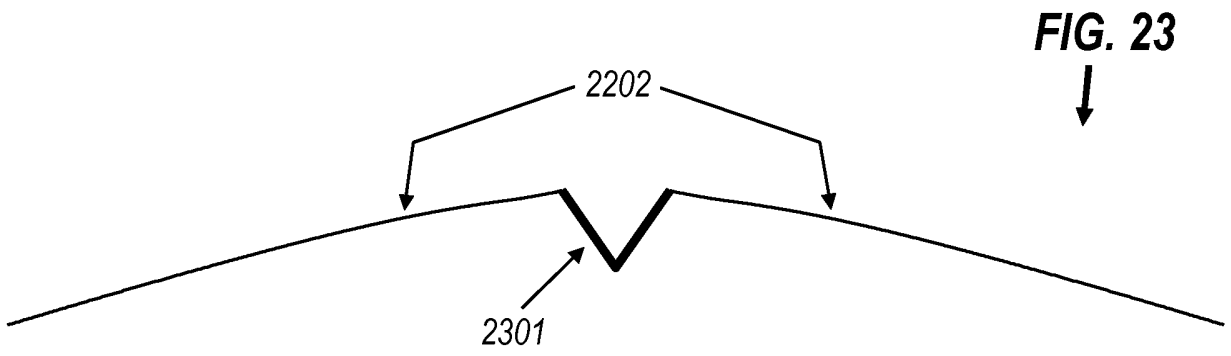


FIG. 24

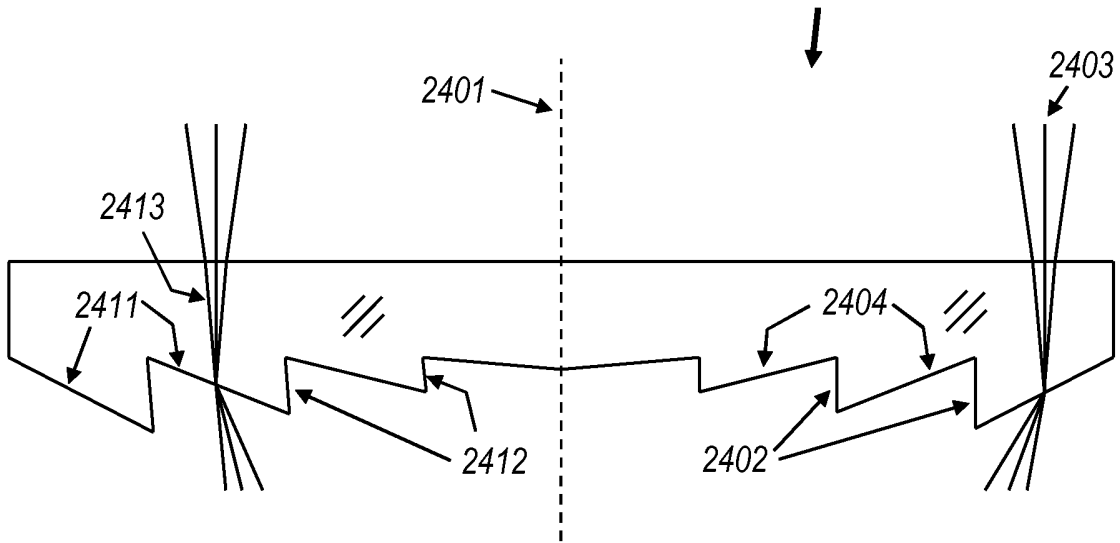


FIG. 26

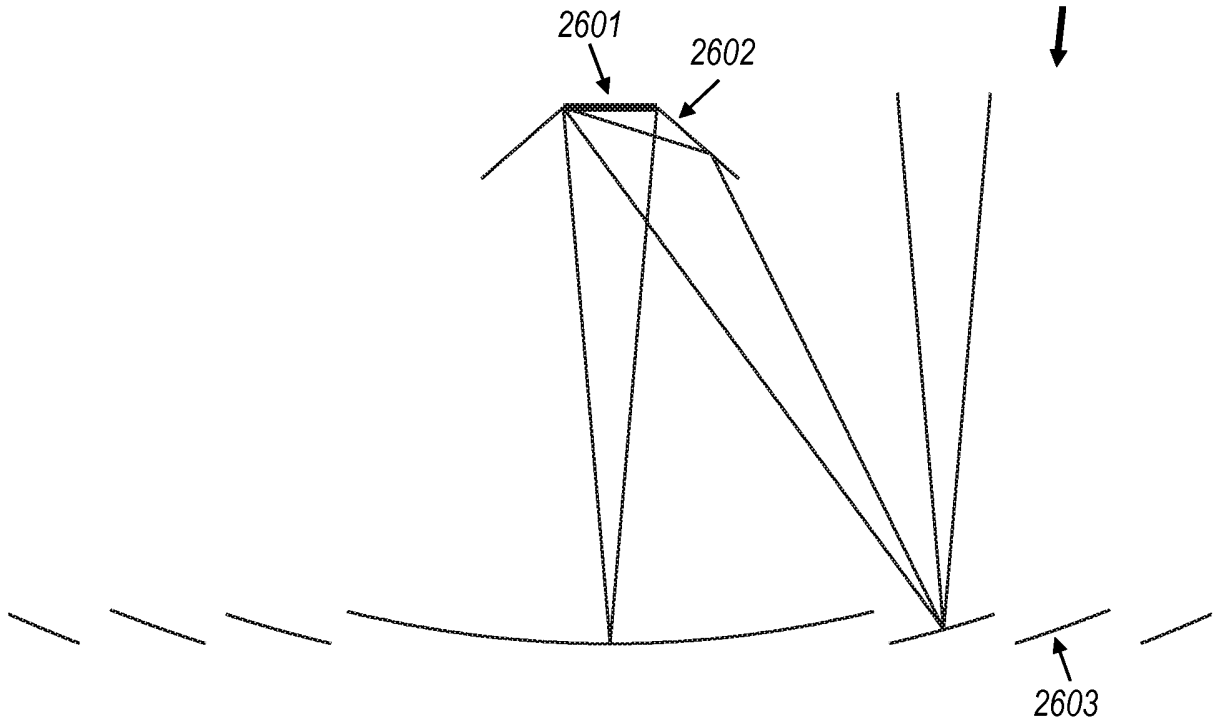
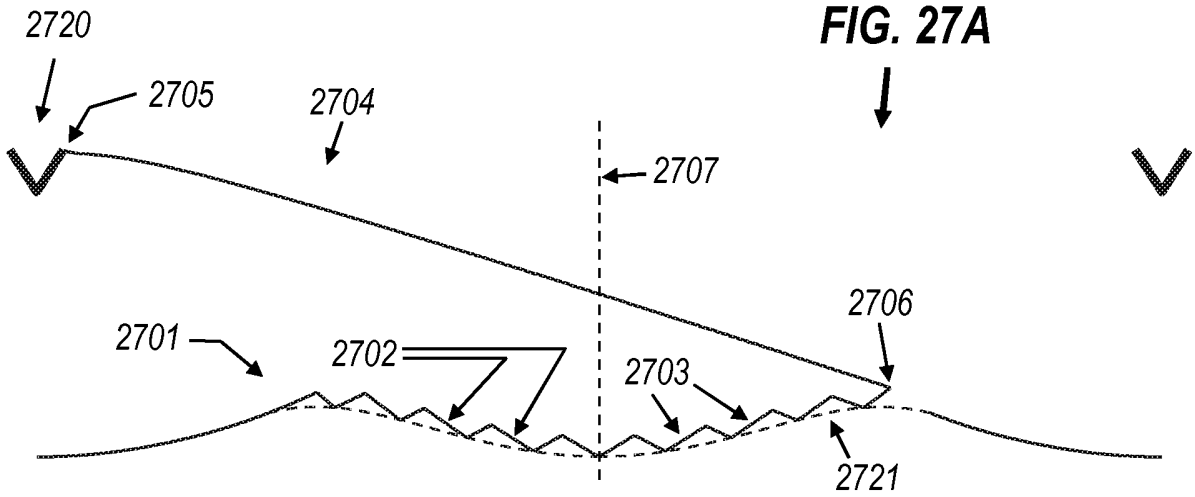
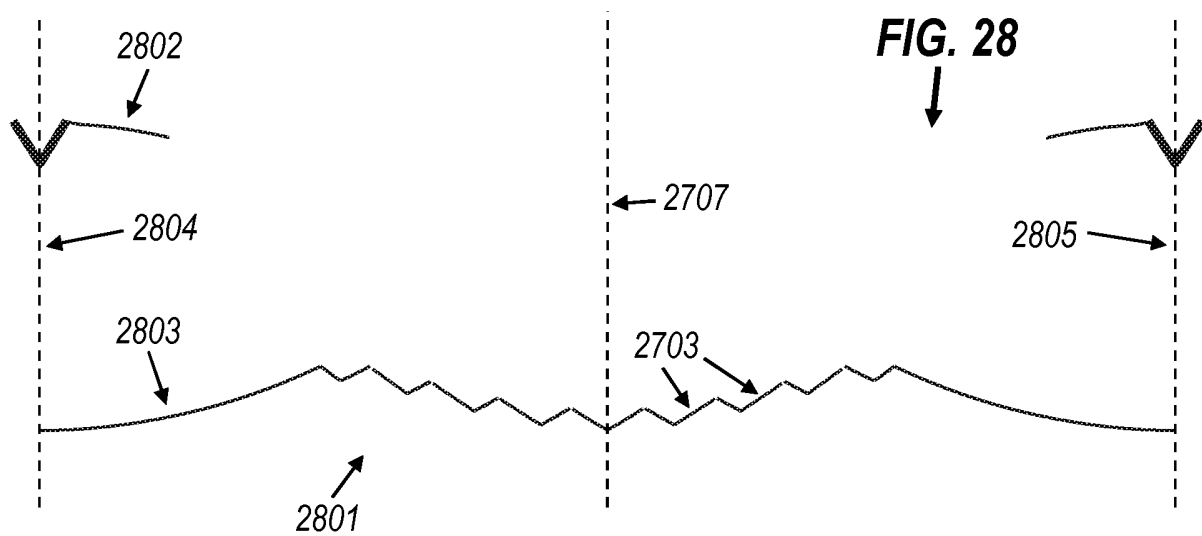
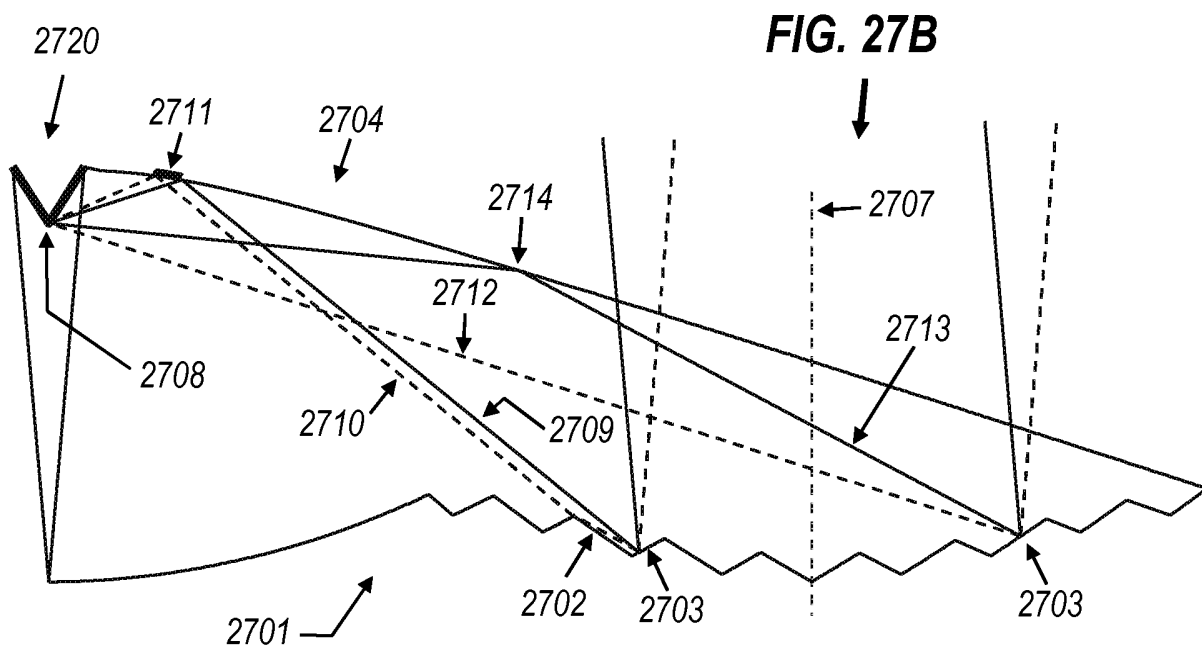
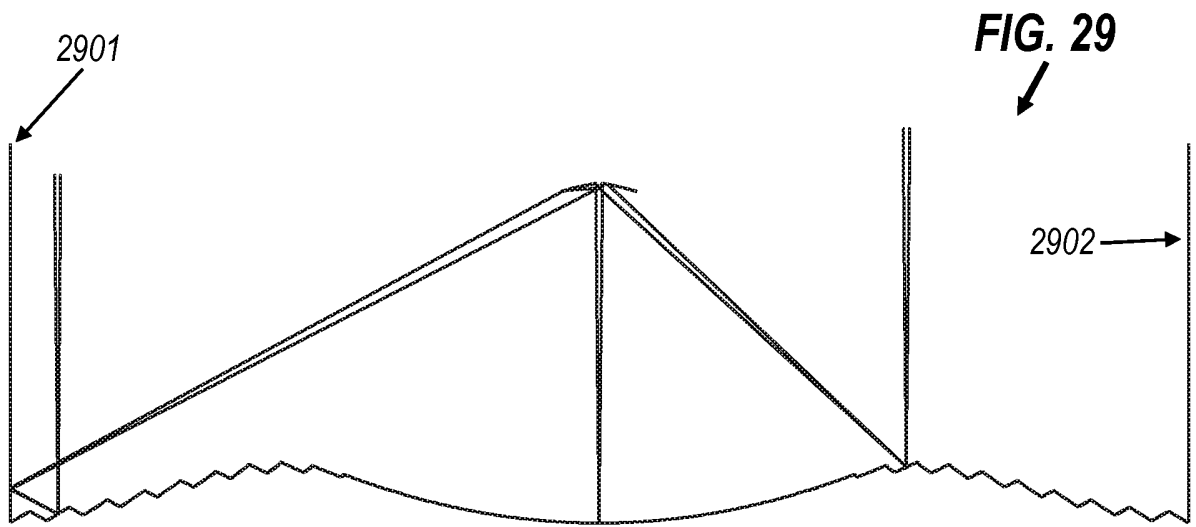


FIG. 27A







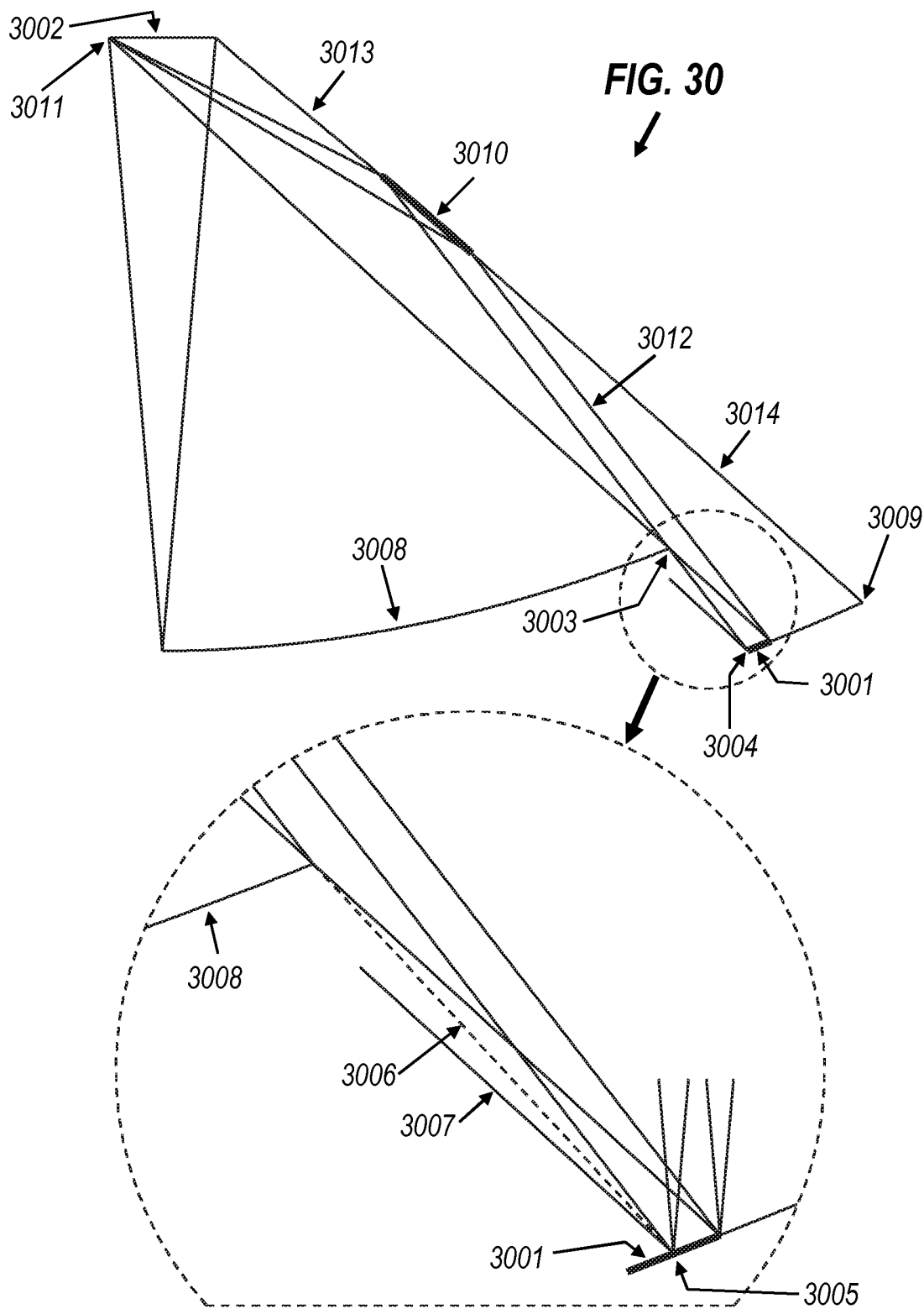


FIG. 33

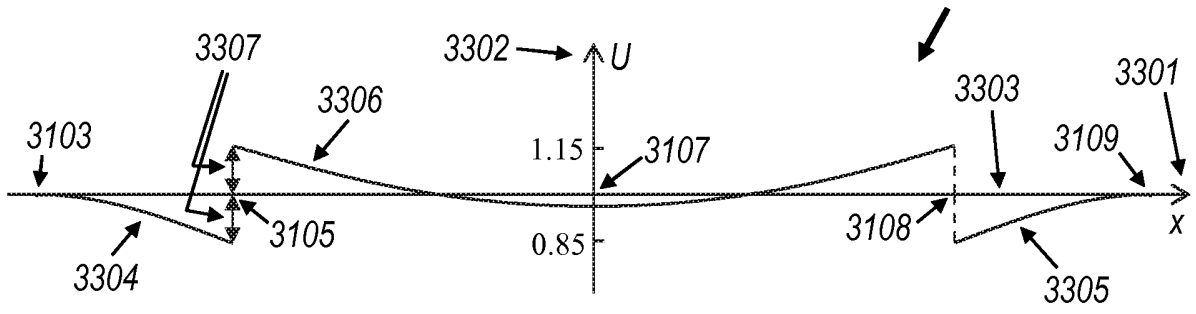


FIG. 34

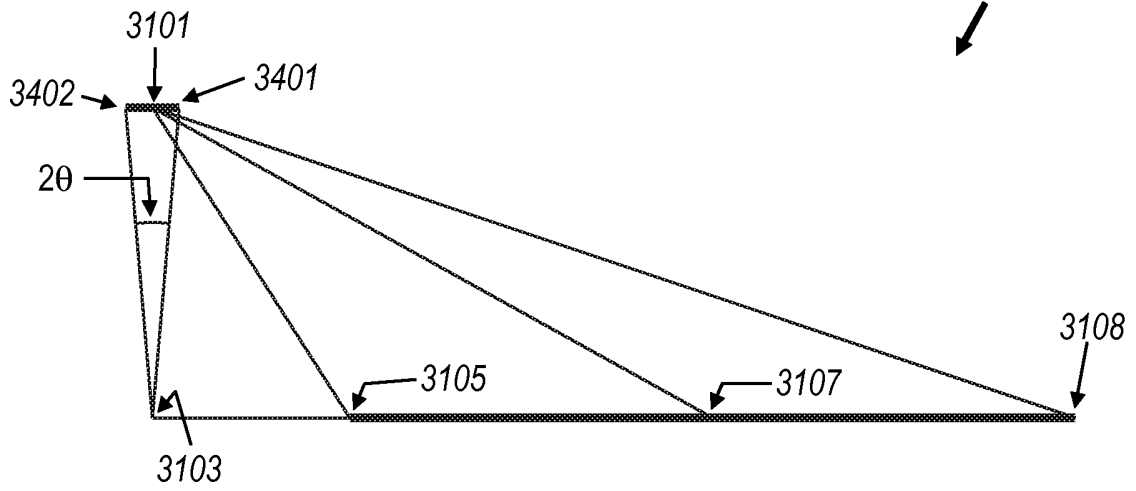


FIG. 35

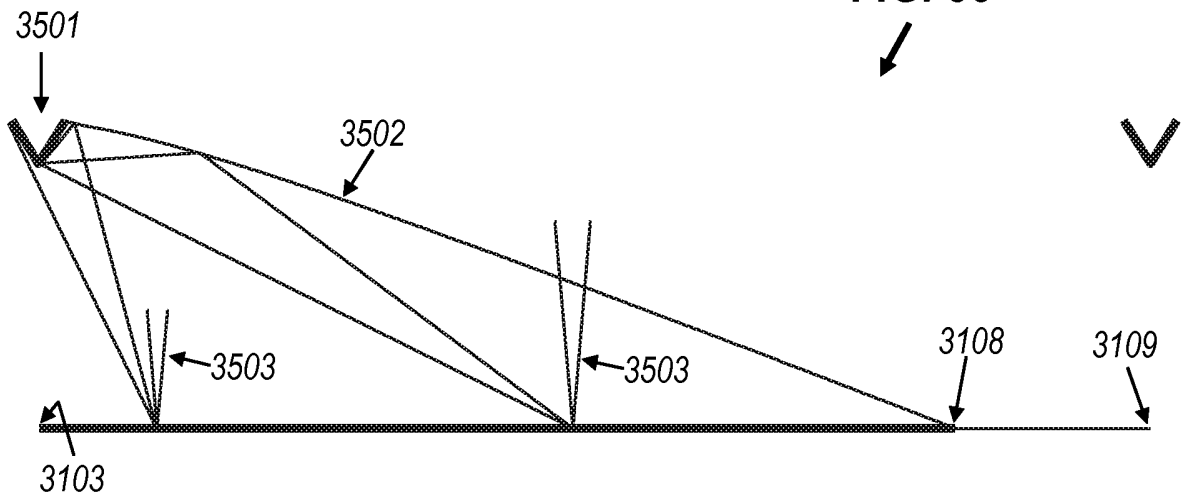
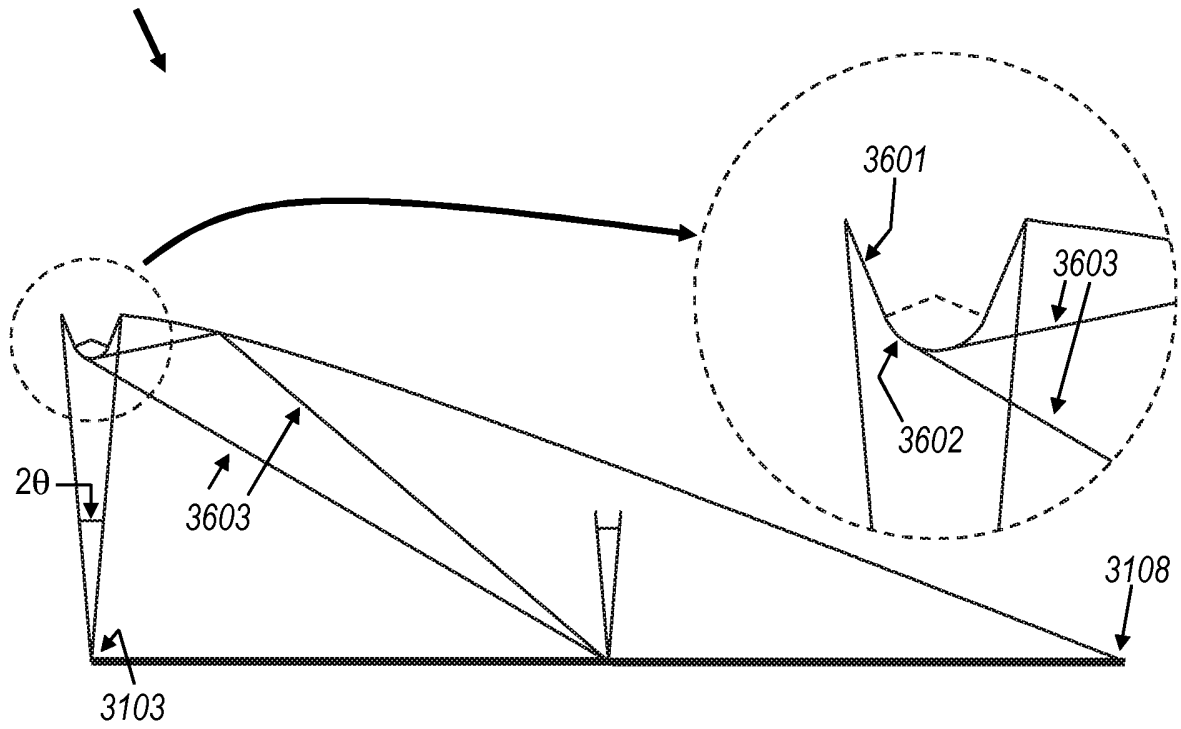


FIG. 36



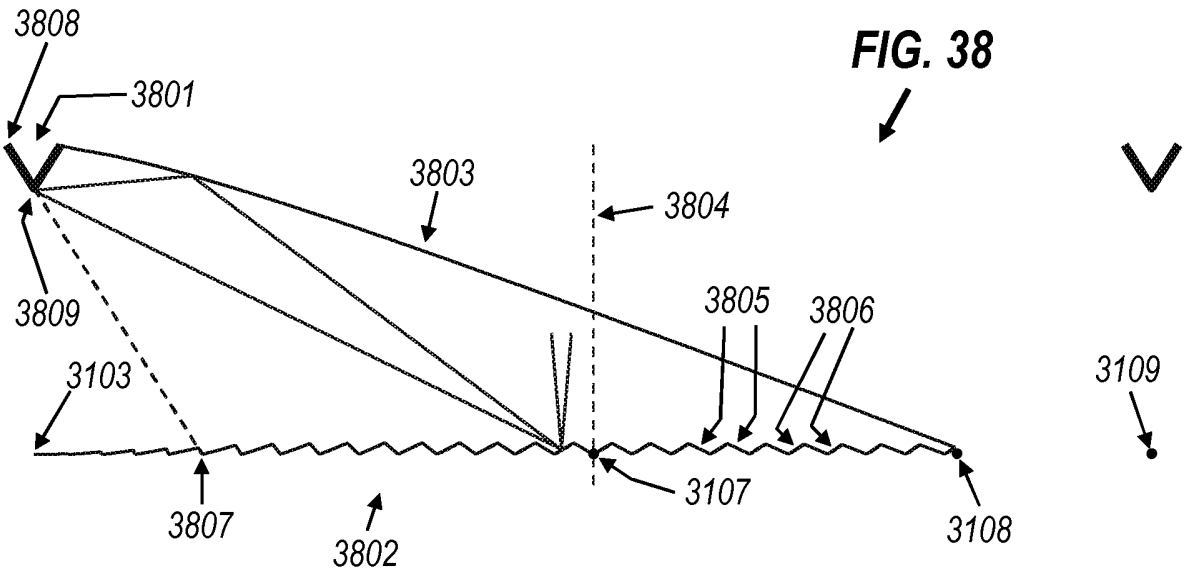
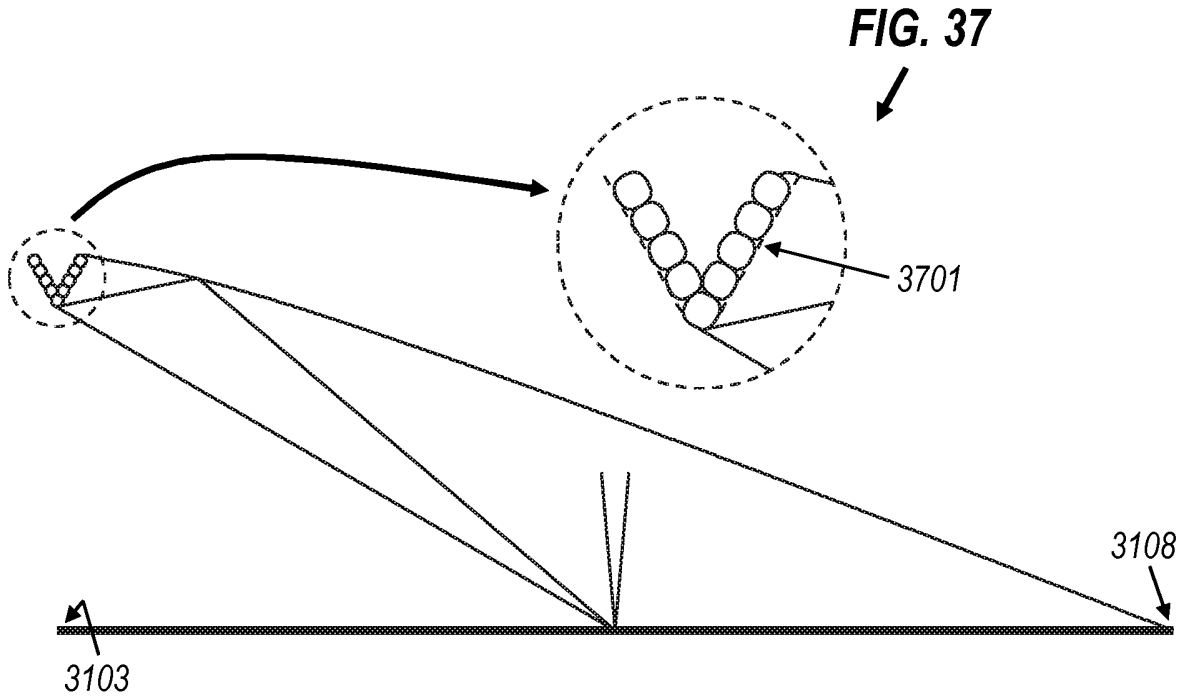


FIG. 39

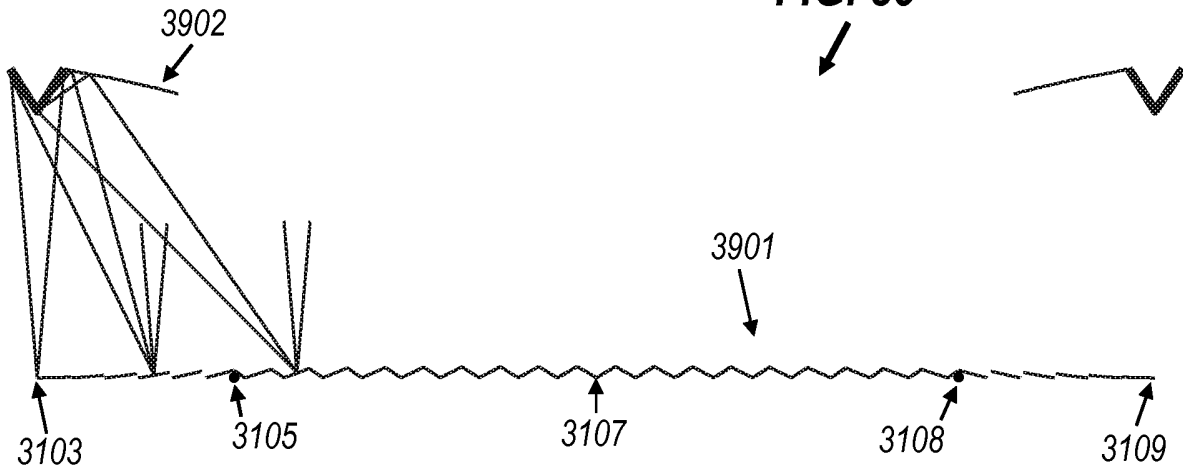


FIG. 40

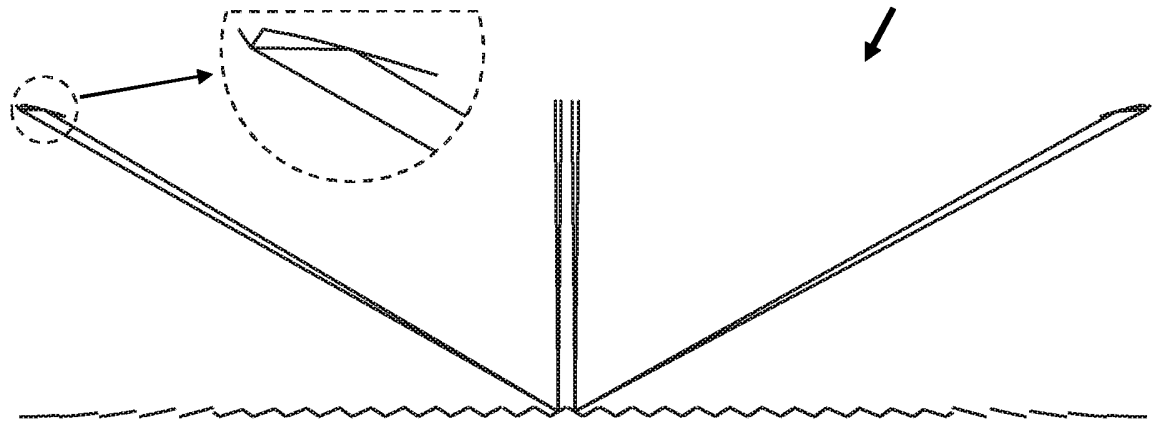


FIG. 41

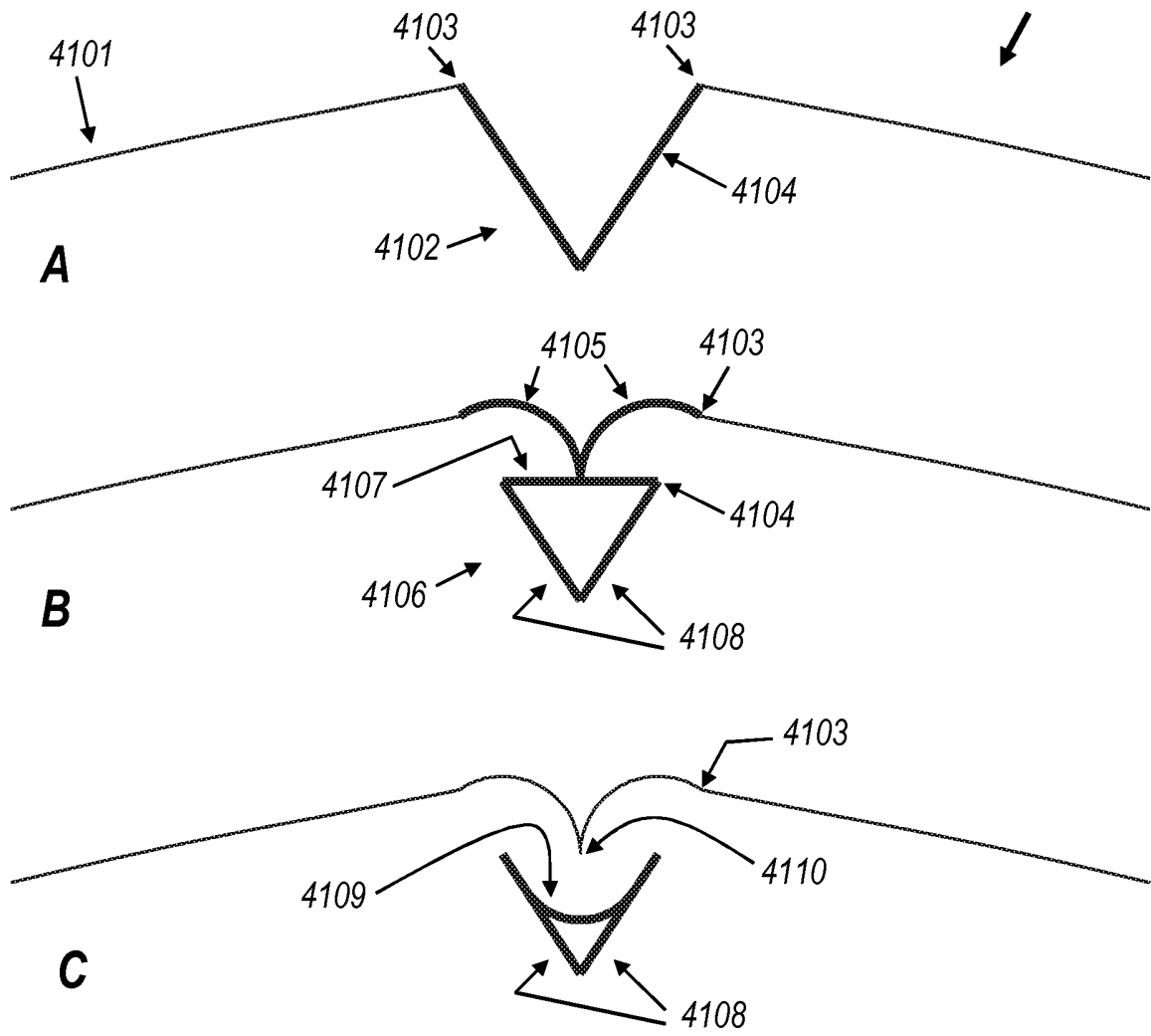


FIG. 44

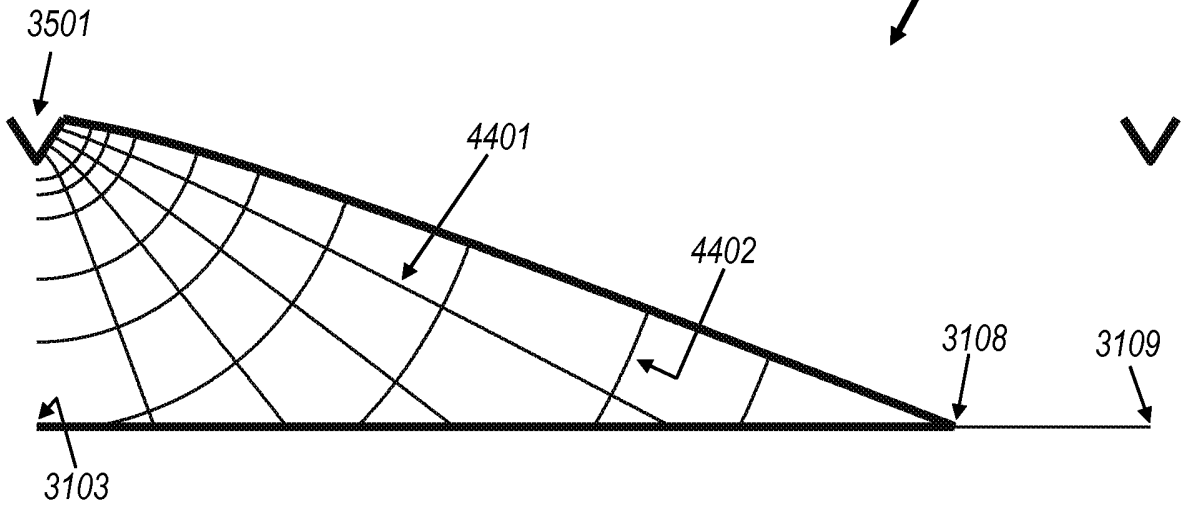


FIG. 45

